



**FISIOLOGÍA Y RENDIMIENTOS DE BIOMASA EN UN CULTIVO DE TOMATE
HIDROPÓNICO (*Solanum lycopersicum*) CON SOLUCIÓN NUTRITIVA SOMETIDA A
TRATAMIENTO MAGNETICO**

SANTIAGO CUERVO JURADO

Cód.: 1124381

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AGRICOLA

SANTIAGO DE CALI

2018



**FISIOLOGÍA Y RENDIMIENTOS DE BIOMASA EN UN CULTIVO DE TOMATE
HIDROPÓNICO (*Solanum lycopersicum*) CON SOLUCIÓN NUTRITIVA SOMETIDA A
TRATAMIENTO MAGNETICO**

SANTIAGO CUERVO JURADO

Cód.: 1124381

DIRECTOR

ORLANDO ZÚÑIGA ESCOBAR, Físico Ph.D.

CO DIRECTOR

DANIEL IVÁN OSPINA-SALAZAR, Ingeniero agrónomo Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AGRICOLA

SANTIAGO DE CALI

2018

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. JUSTIFICACIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	8
3.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
4. MARCO TEÓRICO.....	9
4.1. HIDROPONÍA.....	9
4.1.1. Relación Mutua entre Aniones.....	10
4.1.2. Relación Mutua entre Cationes.....	11
4.1.3. Conductividad Eléctrica de la SN	11
4.1.4. pH de la SN	11
4.1.5. Ventajas y Desventajas del sistema.....	11
4.2. AGUA TRATADA MAGNÉTICAMENTE	12
4.3. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	14
4.3.1. ECONOMÍA DEL TOMATE.....	17
5. ESTADO DEL ARTE	18
6. METODOLOGÍA.....	20
6.1. LOCALIZACIÓN.....	20
6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
6.3. VARIABLES DE ESTUDIO	21
6.4. MANEJO AGRONÓMICO	23
6.4.1. Manejo de vivero.....	23
6.4.2. Manejo de fertilidad.....	23
6.4.3. Manejo de plagas y enfermedades.....	23
6.5. VARIABLES ESTADÍSTICAS.....	23
7. RESULTADOS	24
8. DISCUSIÓN	24
8.1. pH en la solución 1era Replica.....	25
8.1.1. pH en la solución 2da Replica.	26
8.2. CE en la solución 1era Replica.....	27
8.2.1. CE en la solución 2da Replica	28
8.3. Viscosidad en la solución 1era Replica	29
8.3.1. Viscosidad en la solución 2da Replica.....	30
8.4. Tensión Superficial 1er Replica.....	31

8.5.	Filtrado por Electrolitos 1era y 2da Replica	32
8.6.	Potencial Hídrico de Hoja 2da Replica	34
8.7.	Biomasa y rendimientos 1era Replica.....	35
8.7.1.	Biomasa y rendimientos 2da Replica	38
9.	CONCLUSIONES.....	40
10.	PRESUPUESTO.....	40
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	41

TABLAS

Tabla 1.	<i>Condiciones Edafoclimatológicas para el cultivo de tomate, sembrando en suelo.....</i>	15
Tabla 2.	<i>Composición nutricional del tomate por 100 gramos de tomate fresco.</i>	17
Tabla 3.	<i>Aplicación de fertilizantes por Stock. Ospina 2015.</i>	21
Tabla 4.	<i>Variables de respuesta en la SN.</i>	21
Tabla 5.	<i>Variables de respuesta planta.....</i>	22
Tabla 6.	<i>Aplicación de la Solucion Hoagland Replica I y Replica II</i>	23
Tabla 7.	<i>Valores promedio de las variables de respuesta cuantificadas para los tratamientos Replica 1.....</i>	24
Tabla 8.	<i>Valores promedio de las variables de respuesta cuantificadas para los tratamientos Replica 2.....</i>	24

ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	<i>Tomate en cultivo hidropónico.</i>	9
Ilustración 2.	<i>Planta de Tomate.....</i>	15
Ilustración 3.	<i>Ciclo Fenológico del tomate.</i>	16
Ilustración 4.	<i>Montaje experimental del sistema hidropónico.....</i>	21

FIGÚRAS

Figura 1.	<i>Tratamientos magnéticos. Fuente: Tratamiento magnético de agua de riego y semillas en agricultura.....</i>	14
-----------	---	----

GRÁFICAS

Gráfica 1.	<i>Rendimiento del tomate año 2014.</i>	17
Gráfica 2.	<i>Comparación de pH entre Tratamientos y Replicas.....</i>	25
Gráfica 3.	<i>Comparación de CE entre Tratamientos y Replicas</i>	27
Gráfica 4.	<i>Comparación de Viscosidad entre Tratamientos y Replicas</i>	29
Gráfica 5.	<i>Comparación de la tensión superficial de la SN.</i>	31
Gráfica 6.	<i>Comparación de Filtrado de Electrolitos entre Tratamientos y Replicas, etapa de floración.....</i>	32

Gráfica 7. Comparación de Filtrado de Electrolitos entre Tratamientos y Replicas, etapa de maduración de frutos.	33
Gráfica 8. Comparación del Potencial de Hoja entre tratamientos del 2da Repetición	34
Gráfica 9. Comparación de tomates cosechados entre Tratamientos y Replicas, para 10 plantas por cada tratamiento.	35
Gráfica 10. Comparación del peso seco de los frutos cosechados entre Tratamientos y Repeticiones	36
Gráfica 11. Comparación del peso de la materia seca en gramos (Raíz, Tallo y Hojas) entre Tratamientos y Replicas.	36
Gráfica 12. Comparación del área foliar específica (AFE) entre tratamientos y replicas	37

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de suplir la demanda de alimentos en la población mundial cuyo crecimiento según la FAO es de 7300 millones de personas, ha generado como respuesta que las prácticas agrícolas se tecnifiquen e intensifiquen desde la revolución verde (1950), hasta nuestros días. Como consecuencia de ello, se ha logrado producir 2800 kcal/ habitante día, generando que la tasa de crecimiento agrícola sea superior a la tasa de crecimiento demográfico (FAO, 2014).

Sin embargo, el acceso junto con la seguridad alimentaria está lejos de ser una realidad y por el contrario en muchos casos ha traído como efecto una degradación al entorno ambiental de manera exponencial (suelo y agua principalmente) llegando inclusive a producir una degradación irreversible sobre los ecosistemas. El 33% del suelo se encuentra de moderado a altamente degradada debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación química (FAO, 2015)

Mientras que la escasez de agua, afecta a cuatro de cada diez personas en el mundo (OMS, 2017), siendo la agricultura la principal responsable debido a que es ejecutor del 70% de las extracciones de agua dulce y consumidor de más del 90% (FAO, 2013). Paradójicamente se estima que una de cada nueve personas en el mundo está desnutrida, siendo la población infantil la más perjudicada (45% de los niños mueren por desnutrición) (PMA, 2017). En América Latina y el Caribe el 8% de población total se encuentra en condición de sub alimentada (FAO 2014).

No obstante con el nuevo orden mundial alentado por las investigaciones y la reducción del impacto ambiental, la agricultura se ha propuesto establecer un carácter limpio, sostenible e incluyente, por lo que muchos productores agrícolas han optado por mejorar sus prácticas agrícolas y agronómicas, con la finalidad de aumentar sus rendimientos, a partir de técnicas de labranza, riego, fertilización y control de patógenos (Monardes, 2013).

En virtud de lo anterior, la agricultura ha dejado de desarrollarse de manera convencional y ha empezado a implementar métodos alternativos (Lara, 2000); la hidroponía y los riegos de agua tratada magnéticamente (ATM) son algunas de éstas nuevas prácticas, que buscan además de minimizar los daños causados a los recursos y responder a la demanda alimentaria de manera eficaz (dos Santos, 2005; Zarate, 2007).

Las investigaciones citadas por Zúñiga et al. (2016) corroboran estas mejoras, las cuales registraron un aumento en la producción y productividad de apio y frijol en plantas irrigadas con ATM quienes se encontraban en condiciones de invernadero (Maheshwari y Grewal, 2009). También, plantas de maíz irrigadas con ATM aumentaron su tasa y velocidad de germinación, así como el desarrollo de raíces y tallos (Mahmood y Usman, 2014). Igualmente Zúñiga et al (2016) prescribió que hubo crecimientos significativos en plantas de cúrcuma a las cuales se les aplicó riego de ATM en condiciones de invernadero.

Por consiguiente se hace necesario ampliar el espectro de investigación a otro tipo de hortalizas cuya demanda nutricional es mayor, tal como el tomate (DANE, 2015) dado que es necesario evaluar la tecnología ATM y su efecto en cultivos que estén en un sistema hidropónico y bajo condiciones de invernadero.

2. JUSTIFICACIÓN

Al momento de aplicar agua y nutrimentos en un cultivo de tomate se han empleado diferentes métodos de fertilización y riego, ya sea por surcos (Alvarado, 2013), por goteo (López et al., 2009) y por sistema hidropónico, con el fin de generar las mejores condiciones de desarrollo. Sin embargo, independientemente del tipo de riego utilizado, todos los autores establecen como un hito “la calidad del agua” con la cual se riega o se realiza el proceso de fertilización en tomate.

En Colombia el cultivo de tomate está cultivado en 8.992 ha (DANE, 2015) y para obtener rendimientos de 47.05 t/ha (DANE, 2015) se recurrió a una gran cantidad de agroquímicos (Jaramillo et al., 2007), por lo que en principio su costo varía según el precio de los mismos cuya dependencia del precio del petróleo lo hace fluctuar, así como su forma de transporte y su país de origen (DANE, 2012), a esto se le debe sumar los daños ambientales y de salud que ocasionan las malas fertilizaciones agrícolas y la aplicación de agroquímicos sin ningún control que evitan la posibilidad de importación a los mercados de Estados Unidos y la UE (Jaramillo et al., 2007).

Lo anterior ha derivado que en Colombia se haya iniciado la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que se sustenta en la producción limpia y sostenible de hortalizas, frutas y cereales, dicho documento tiene como fin generar que el tomate sea uno de los productos de exportación Colombiana (Peña, Casierra, Monsalve, 2013). Así pues, la hidroponía en cultivo de tomate empieza a tener relevancia y a ser vista como una alternativa de producción, más cuando en un área del 7.6 % de producción agrícola (IDEAM 2012), el 48 % del suelo es afectado por erosión, el 7 % es susceptible a salinización y el 24 % es susceptible a desertificación (IDEAM 2012).

Es por esto que los tratamientos de agua, así como las diferentes estructuras hidráulicas y de filtrado permiten al agua mejorar sus condiciones fisicoquímicas; sin embargo, estas implementaciones son obras de un costo considerable y que demanda un espacio amplio, surgiendo como alternativa el Agua Tratada Magnética (ATM).

Se ha encontrado que la aplicación de ATM posibilita que el carbonato de calcio se cristalice en aragonita, lo que permite evitar la formación de costras en tuberías y la obstrucción de emisores (riego por goteo, conductos hidropónicos). Además, la aplicación de campos magnéticos permite controlar la corrosión (Díaz, Carbonell y Ramírez, 2001) y mejora las propiedades químicas y físicas del agua, tales como el pH, la conductividad eléctrica, la viscosidad, la tensión superficial y la tasa de evaporación en cultivos hidropónicos (Ospina et al. 2016).

Adicional a esto, la aplicación de ATM ha tenido los siguientes ítems positivos en los cultivos: las plantas aumentan su productividad, protección al cultivo de efectos nocivos a causa de la aplicación de aguas recicladas, aumento de la germinación y longitud de raíces y tallos, aumento de biomasa, aumento de iones en la composición fisiológica de la planta (Mg, Ca y P), reducción de impurezas, precipitación de sales y liberación de ácidos orgánicos (Zúñiga et al., 2016). Sin embargo, para que el funcionamiento sea el adecuado se requiere de una inversión inicial considerable, por lo que el costo de montaje y aplicación aún es objeto de estudio (Gonzales et al., 2008).

Pese a lo anteriormente mencionado, Ferratto (2008), Monardes (2013) y la FAO (2014) estimaron que los ingresos por exportación de tomate compensaran dicha inversión, pues se registra que hubo una producción de más de mil millones de toneladas (FAO, 2014), debido a la alto consumo, sobre todo en los mercados de la UE y los Estados Unidos. Monardes (2013), referencia la tendencia ocurrida entre 1999 a 2001 en la que la FAO estipuló que el comercio y la producción de tomate aumentó un 33%, siendo durante este periodo los mercados de Estado Unidos, Reino Unido y Alemania los principales importadores de tomate.

En conclusión, la hipótesis de este proyecto de investigación fue la de establecer si plantas de tomate hidropónico irrigadas continuamente con ATM bajo condiciones naturales de luz, exhiben mayor rendimiento que aquellas con agua sin tratar. Este trabajo busca aumentar los alcances de un experimento realizado por Ospina et al., 2016, en datos aún no publicados. Además la realización de este trabajo busca contribuir a la generación de conocimiento para impulsar una agricultura sostenible y aportar a un mayor conocimiento con respecto al cultivo hidropónico de tomate con ATM.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la tecnología ATM y su efecto en la fisiología y el rendimiento en la biomasa total de tomate en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.

3.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Confrontar la biomasa de dos sistemas hidropónicos re circulantes diferenciados por la aplicación de ATM en uno de ellos.
- Determinar si el sistema al cual se le realizó aplicaciones de ATM proyectó mayores rendimientos de cosecha con respecto al otro sistema re circulante y al sistema hidropónico de raíces flotantes.
- Reconocer el efecto de las propiedades fisicoquímicas del ATM en los diferentes parámetros fisiológicos del cultivo y la solución nutritiva.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. HIDROPONÍA

El sistema de hidroponía se define como una alternativa de producción de alimentos (Lara, 2000) y consiste en suplir el suelo a partir de un sustrato ya sea natural o artificial (il. 1). El sustrato se puede presentar en estado sólido o líquido (dos Santos, 2005), dado que los sustratos pueden tener un medio de soporte, o no. Lo más importante es que el sustrato debe proporcionar a la planta las condiciones de anclaje, agua, aire y desarrollo nutricional (dos Santos, 2005).

Ilustración 1. *Tomate en cultivo hidropónico.*



Fuente: <https://alternativa-verde.com/2014/06/11/hidroponia-beneficios-de-cultivar-sin-tierra/> mayo 2017

Los sistemas hidropónicos son clasificados en abierto y cerrado, ya que puede existir o no una reutilización de la solución nutritiva, a la cual sus excedentes son recuperados, regenerados y reaplicados (Lara, 2000). Sin embargo, la oxigenación de la solución es vital sobre todo en los sistemas cerrados, debido a que cuando esta es ineficiente genera problemas de absorción de nutrientes y agua, lo que genera efectos negativos en el desarrollo del cultivo. (Martínez, Ortiz y López, 2012).

Por tanto según los estudios realizados por Lara en el año 2000, existen técnicas de hidroponía, las cuales están clasificadas según el estado del sustrato (líquido o sólido). Para un sustrato en estado líquido se presentan las siguientes técnicas:

- *NFT (Película nutritiva)*: Consiste en mantener circulando una fina capa de solución nutritiva en las raíces de la planta con el fin de proveer nutrientes, agua y oxígeno. Las plantas crecen en canales formados por películas de polietileno.
- *Hidroponía flotación*: Se fundamenta en sumergir el sistema radical en la solución, por lo que el vástago de la planta es suspendido sobre la solución, la cual es aireada continuamente.

- *Aeroponía*: Se sustenta en regar en determinado periodo de tiempo, las raíces con la solución nutritiva, con el fin de conservarlas húmedas. Sin embargo esta técnica es utilizada únicamente en estudios fisiológicos. (Lara, 2000).

Investigaciones recientes han incluido nuevas técnicas en un sustrato cuyo estado es líquido, dichas técnicas son:

- *DWC (Deep Water Cult)*: Las plantas se encuentran suspendidas en un tanque de una profundidad media, lo que permite que las raíces se desarrollen y queden sumergidas en un volumen de agua, en el cual se encuentra la solución nutritiva que está altamente oxigenada. Lo que permite que exista un mayor desarrollo de las plantas que se encuentran en este sistema. (Lopes, 2014)
- *EBB y FLOW (Flood & Drain)*: Sistema de flujo y reflujo (Lopes, 2014), en el que la planta está en un medio inerte (arcilla principalmente) (Echeverry, 2016, Lopes, 2014), el cual cada cierto tiempo es saturado con solución nutritiva (Echeverry, 2016). Este sistema se encuentra estratificado en dos, uno de los cuales es un depósito que contiene agua y solución nutritiva, en el cual se encuentra una bomba que permite un flujo hasta las raíces para saturarlas, una vez saturadas los excesos son devueltos al depósito mediante un proceso de drenaje. (Lopes, 2014)

Mientras que en un sustrato cuyo estado sea sólido, Lara (2000) reporta las siguientes técnicas de manejo:

- *Cultivo en Arena*: El sustrato se basa en partículas finas de arena, con un riego por goteo.
- *Cultivo de Grava*: Su sustrato es a partir de la roca volcánica, la cual debe tener consistencia, capacidad para retener agua, buen drenaje y no liberar sustancias. Algunos de los materiales más implementados son la vermiculita, perlita, tezontle.
- *Cultivo Sustratos Alternativos*: Tales como la turba, la cual consiste en descomposición parcial de plantas acuáticas, entre otros.

Independientemente de la técnica hidropónica que se utiliza, todas depende de una solución nutritiva (SN) la cual consta de agua con oxígeno y nutrientes esenciales en forma iónica, los cuales deben estar disueltos en el soluto (agua con oxígeno), ya que las necesidades de nutrición de la planta son satisfechas por los nutrimentos que se encuentren en la SN (Lara, 2000). La SN está en función de la especie, la edad fenológica y las condiciones ambientales. Los siguientes parámetros permiten medir la eficacia del sistema.

4.1.1. Relación Mutua entre Aniones

La SN debe poseer un balance de los macronutrientes (N, P y S; generalmente) la cual es dependiente no solo de la cantidad de cada uno de los aniones, sino también de su interacción cuantitativa entre los grupos de cationes y aniones. Esto permite que exista variación en la solución nutritiva para los cultivos, debido a que las interacciones pueden ser afectadas por

condiciones ambientales. Por lo que la demanda de nutrimentos es dependiente de la edad fenológica (López et al., 2013).

4.1.2. Relación Mutua entre Cationes

Los macro nutrimentos que contiene la SN en forma de cationes son K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y en algunas ocasiones NH_4^+ y al igual que en la relación entre aniones es dinámica, además de existir una acción inversamente proporcional entre el K y el Ca. Por lo que la demanda de nutrimentos es dependiente de la edad fenológica y las condiciones ambientales de la SN (López et al., 2013).

4.1.3. Conductividad Eléctrica de la SN

En una SN cuyo contenido de CE aumenta, su potencial osmótico será mayor, generando que las plantas disipen una mayor energía para la absorción de agua y nutrimentos, dado que las relaciones de aniones y cationes son alteradas químicamente, descompensando la cantidad de macronutrientes de ambas relaciones. Sin embargo es necesario que exista una CE no menor de 2 ds/m, o de lo contrario la SN presentara deficiencias en los nutrientes. (López et al., 2013)

4.1.4. pH de la SN

Un pH óptimo dependerá del tipo de cultivo, según López et al. 2009, para cultivos de tomate el pH debe oscilar entre los 5.5 y 6, ya que permitirá:

- Regular el contenido de HCO_3^- presente en la solución acuosa
- Solubilizar el $H_2PO_4^-$ y evitar la disociación del mismo
- Evitar la precipitación de Fe^{2+} y Mn^{2+}

4.1.5. Ventajas y Desventajas del sistema

Los parámetros anteriores, generan que los sistemas hidropónicos son realizados en invernaderos, pues esto permite realizar la medición exacta y controlar las cantidades de variables no solamente de la SN sino del cultivo como tal, así mismo, permite reducir el ruido experimental, ya que posee parámetros de control. La forma de realizar la técnica de hidroponía, dependerá no solo de las propiedades físicas y químicas, sino también de la disponibilidad y su valor en el mercado (Lara, 2000).

Las investigaciones realizadas en diferentes cultivos han permitido demostrar una serie de ventajas irrefutables que permiten ampliar el espectro de investigación. A continuación se presenta algunas de las ventajas detalladas por Madrid (2007).

- Balance ideal de aire, agua y nutrientes
- Humedad uniforme
- Excelente drenaje
- Mayor densidad de población
- Corrección eficiente de excesos o deficiencias
- Control de pH
- Dependencia no directa de los fenómenos meteorológicos

- Posibilidad de rendimientos mayores
- Mayor calidad
- Repetición de cultivos
- Variación de cosechas en el año
- Menor área de cultivo
- Uniformidad del cultivo
- Ahorro de agua
- Reducción de costos de agua
- Mayor limpieza e higiene
- Enriquecimiento de los productos alimenticios

Sin embargo, Madrid (2007) y dos Santos (2005) en sus respectivos documentos también se refieren a una serie de retos importantes a superar, los cuales son:

- Requiere conocimiento técnico y académico
- Cuidadoso con los detalles de acoplamiento y distribución
- Conocimiento y manejo controlado de las especies
- Requiere abastecimiento continuo del agua
- Costos de instalación
- Trasplante riesgoso

En Colombia Peña et al., 2013 encontró que la cascarilla de arroz es el sustrato más utilizado para cultivos hidropónicos, a pesar de que su capacidad de retención de humedad es baja. En menor proporción se utilizan las zeolitas, la fibra de coco y las escorias. Sin embargo, no solo existe un poco desarrollo hidropónico en el país sino peor aún, las investigaciones del uso de estos sustratos en cultivos son escasas o incapaces de establecer un parámetro que sirva de insumo para mejorar las condiciones de productividad (Peña et al., 2013).

4.2. AGUA TRATADA MAGNÉTICAMENTE

El uso de campos magnéticos para purificar y mejorar las condiciones del agua se ha realizado principalmente a nivel industrial, ya que esta técnica ordena las moléculas cambiando su forma de cristalización y su solubilidad salina, evitando que exista cristalización en las tuberías u obturaciones en los sistemas de riego por goteo (Ospina et al, 2016) (Martínez, Carbonell, Flores, 2003) (Díaz, Carbonell y Ramírez, 2001).

Se debe entender que el magnetismo en los materiales es diferente, debido a la composición propia de los materiales, es por esto que el magnetismo en materiales se presentará como:

- *Ferromagnetismo*, es definido como la propiedad que altera a ciertos metales y sus aleaciones, generando que exista una alineación de los espines de los electrones, cuando están en presencia de un campo magnético.
- *Paramagnetismo*, es la propiedad que permite que exista una transposición transitoria de los electrones cuando existe presencia de un campo magnético.

- *Diamagnetismo*, es propio de sustancias o compuestos orgánicos cuyos electrones no sufren reordenamiento cuando están en presencia de un campo magnético y por el contrario son repelidos por el mismo.

Por tal motivo el grado de magnetización será menor en los elementos diamagnéticos, tales como el agua, así mismos se presentara una poca intensidad magnética e inducción magnética del elemento (Ospina, 2016). Para el caso específico del ATM, las variaciones físicas del elemento diamagnético más relevantes son:

- *La Tensión Superficial*: es la propiedad que determina que todo liquido forma una fase entre él mismo, el aire y el sólido, generando una repulsión entre las moléculas de la masa liquida y el sólido, mientras que aquellas que se encuentran con la superficie libre se encuentran sometidas a una tensión (While 1980). Para el caso del ATM la tensión disminuye cuando se aplica un campo magnético sobre el agua desionizada, generando que el movimiento de las moléculas de agua no posea una alta resistividad, lo que concluye con una reducción de la hidrofobia (Ospina, 2016).
- *La viscosidad*: es la propiedad secundaria más importante de un fluido ya que permite relacionar el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación de las partículas (While 1980), la cual, debido al tipo de fluido aumenta de manera lineal. Pero cuando se es expuesto a un campo magnético, existe una disminución del coeficiente de auto difusión, por lo que restringe su movimiento y altera la viscosidad del fluido (agua) (Ospina, 2016).
- *Tasa de Evaporación*: en cuanto a la evaporación estudios realizados plantean que el agua al ser afectada por un campo magnético aumenta su tasa de evaporación, ya que existe un cambio en los enlaces de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals (Ospina, 2016).
- *Interacción con radiaciones*: determina que el agua cuando contiene aire o carbonato de calcio, el campo magnético ejerce sobre el fluido alteraciones en la refracción y en la estructura, debido a que altera las vibraciones y los modos rotatorios de la molécula de agua (puentes de hidrogeno), y promueve la formación de aragonita en lugar de calcita (Ospina, 2016).

No obstante Zúñiga et al (2016) determina que al aplicar campos magnéticos sobre el agua existen efectos y alteraciones de propiedades físicas, están en función de sus propiedades moleculares y no por su naturaleza diamagnética, por lo que la purificación del agua dependerá de la intensidad del campo magnético, la composición de sales disueltas y la velocidad con la que cruzan por el campo magnético.

Desde el riego, la ionización del agua es producida por la incorporación de dispositivos magnéticos bien sea en la tubería principal, secundaria o terciaria (fig.1), permitiendo variaciones en la polaridad y la intensidad que a la postre se refleja en una mayor excitación de moléculas de agua. Este proceso permiten una reorganización de las moléculas por lo que el caudal y el tiempo de exposición son variables a considerar, como también la cantidad de energía que se concentra en el dispositivo (Zúñiga et al, 2016).

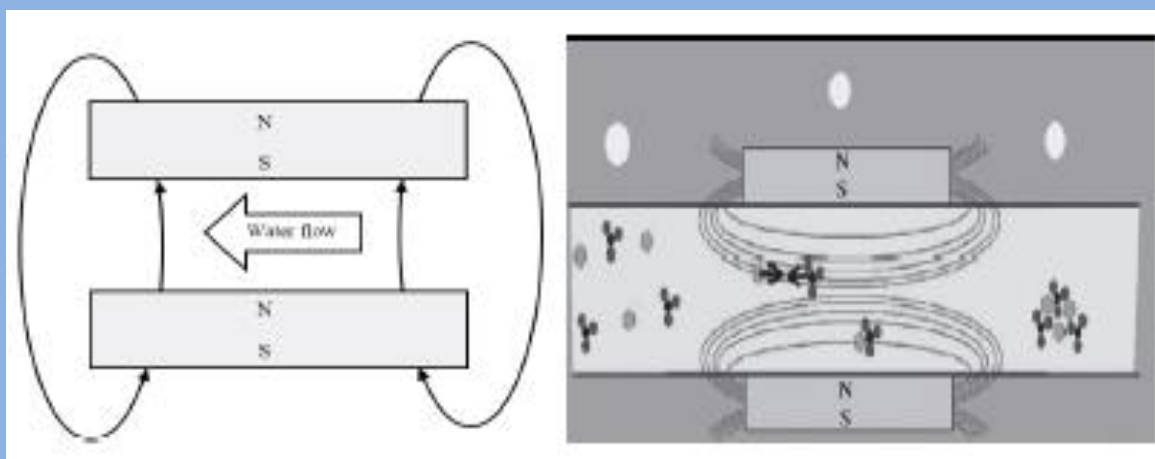


Figura 1. *Tratamientos magnéticos.* **Fuente:** *Tratamiento magnético de agua de riego y semillas en agricultura.*

Ospina (2016), determina que el tratamiento magnético ha influenciado en la precipitación de sales, concentración de iones y en la reducción de las pérdidas por obstrucción presentes en el riego por goteo, planteándose como una alternativa para la aplicación de ácidos cuyos efectos ecológicos son negativos y una solución económica dada la versatilidad y facilidad de acoplamiento de los dispositivos sobre las tuberías. Así mismo esta tecnología produce un bajo impacto ambiental, pues no produce desperdicio y no necesita una fuente de energía para operar.

En definitiva la aplicación de campos magnéticos permite mejorar algunas de las propiedades del agua que optimizan el desarrollo de la planta y su capacidad de producción. A continuación se presentan los efectos plasmados en las investigaciones de (Ospina, 2016) y (Zúñiga et al, 2016):

- Sobre la planta son:
 - a. Aumento en la tasa y velocidad de germinación.
 - b. Aumento en el índice de emergencia.
 - c. Aumento en crecimiento de tallo y raíz.
 - d. Aumento de biomasa.
 - e. Contrarresto del efecto deletéreo de aguas residuales.

4.3. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

El tomate *Solanum lycopersicum* (il.2) es originario de América del Sur, y su proceso de adaptación como cultivo fue iniciado en México y norte de Guatemala, y fue para el año de 1850 que el tomate fue considerado como fuente de alimentación. A partir del siglo XIX adquirió su

relevancia económica llegando a ser una de las dos hortalizas que predominan en el mundo hasta nuestros días (Jaramillo et al, 2007).

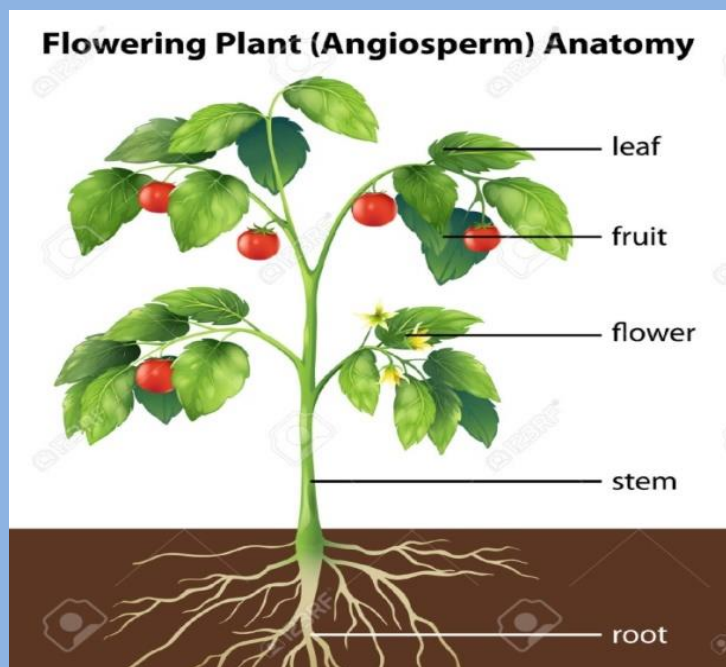
Las condiciones edafoclimatológicas más propicias para el desarrollo del cultivo de tomate, se presentan en la siguiente tabla (Manual del tomate, 2015)

Tabla 1. Condiciones Edafoclimatológicas para el cultivo de tomate, sembrando en suelo.

Altura nivel del mar	0 a 1500 m.s.n.m
Temperatura	15° a 25° C
Humedad Relativa	60 a 85%
Requerimiento Hídrico	Precipitaciones de los 1500 a 2500 mm/año
Textura	Franca
pH	6 a 7
Observaciones	Susceptible a heladas, exceso de agua y falta de luz

En cuanto a morfología el tomate es una planta perenne de porte arbustivo que es cultivada anualmente, y puede presentar crecimiento determinado o indeterminado según su tipo de variedad, a pesar de ello, el tomate independientemente de su variedad presenta sistema radicular, tallo, hojas, flores, frutos y semilla (Jaramillo et al, 2007).

Ilustración 2. Planta de Tomate.



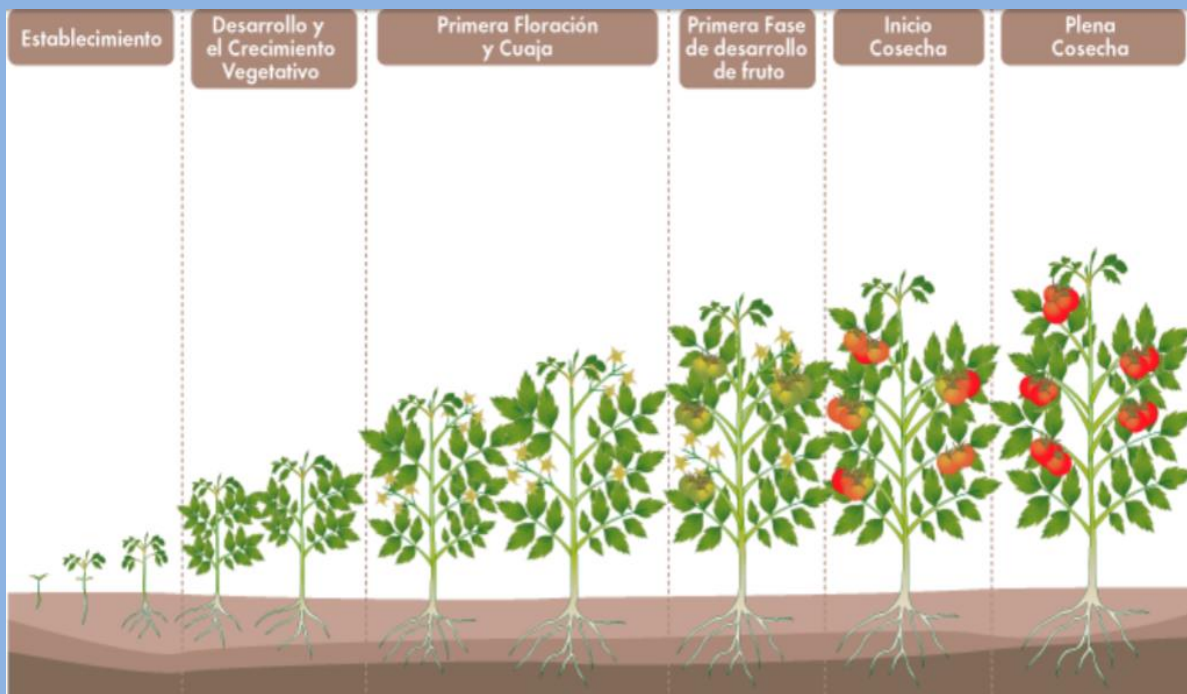
Fuente: http://es.123rf.com/photo_22730334_ilustraci-n-que-muestra-las-partes-de-una-planta-de-tomate.html mayo 2017

La fertilización y el riego en tomate buscan proveer una cantidad de nutrientes y agua en un tiempo determinado y a unas concentraciones necesario. Ambos varían según las condiciones propias de cada sustrato al igual que la morfología de cada especie, sin embargo las épocas de floración y desarrollo de fruto son las etapas fenológicas (figura 4) de mayor requerimiento de fertilizantes.

Estudios realizado por (Jaramillo et al, 2007) determinaron que se requiere una alta disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes, tales como N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, B, Zn. En cuanto a la aplicación de nitrógeno se debe evitar los excesos ya que estos producen una reducción en la formación de los frutos, además desde la etapa de trasplante hasta la floración, la relación N: K debe ser 1:1 y una vez inicie la fructificación la cantidad de K será mayor por lo que su relación será 1:2 o 1:3. Por ultimo cuando es cosechado el fruto, deberá tener en general los siguientes porcentajes de elementos mayores 60% N, 70% P y 75% K.

Por su parte la lámina de riego debe ser la mínima en las etapas de desarrollo, priorizando la frecuencia. La aplicación de láminas de riego incrementará paulatinamente hasta que exista la primera formación del racimo floral, es vital que para realizar riegos, se realicen monitoreo de humedad entre los 30 a 40 cm de profundidad, pues gran parte de las pérdidas registradas en los datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) son originarias por la aplicación incorrecta de láminas de riego.

Ilustración 3. *Ciclo Fenológico del tomate.*



Fuente: *Manual del tomate, 2015. Consultado mayo 2017*

Desde la perspectiva nutricional, el tomate es considerado como una fuente de vitaminas y minerales, por lo que su importancia nutricional es innegable al igual que sus beneficios en cuanto a salud (tabla 2) tanto en niños como adultos, siendo consumido al menos dos veces por semana.

Tabla 2. Composición nutricional del tomate por 100 gramos de tomate fresco.

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Agua	93,50%	Calcio	7mg
Proteína	0,9 g	Hierro	0,7mg
Grasa	0,1g	Vitamina A	1,1UI
Calorías	23 kcal	Vitamina B1	0,05mg
Carbohidratos	3,3g	Vitamina B2	0,02mg
Fibra	0,8g	Vitamina C	20mg
Fósforo	19mg	Niacina	0,6mg

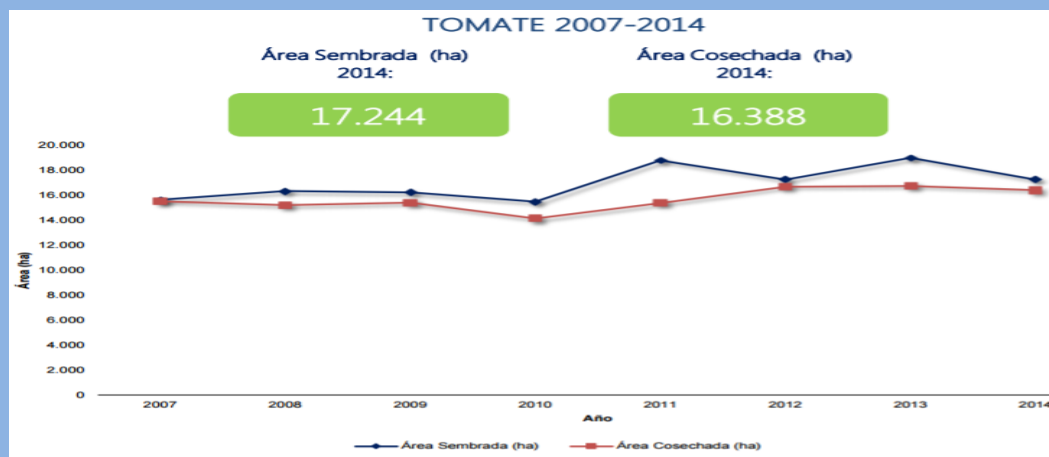
Fuente: Manual del tomate, 2015. Consultado mayo 2017

Todo lo anterior hace posible que el tomate sea utilizado para las actividades culinarias, industriales y medicinales.

4.3.1. ECONOMÍA DEL TOMATE

En Colombia la producción de tomate para el 2015 se realizó en 22 departamentos, generando un total de 345.291 toneladas, cuyo rendimiento fue 47.5t/ha (DANE, 2015). Además las producciones de tomate estuvieron hasta el año 2014 por debajo de las áreas de siembra (MADR, 2014) (gráfico 1), por lo que el rendimiento del cultivo de tomate para los años 2015, 2014 y 2013 no es el más óptimo, (10.56 t/ha más con respecto al 2014, y apenas mayor que el del año 2013 con 4.46 t/ha de diferencia).

Gráfica 1. Rendimiento del tomate año 2014.



Fuente: Ministerio de Agricultura, 2016.

Como consecuencia de ello, Colombia ocupa el puesto 32 en producción de tomate a nivel mundial, por lo que es urgente la necesidad de implementar e impulsar las BPA en conjunto con el aumento al asesoramiento y tecnificaciones a los cultivos existentes en pro de mejorar la oferta en el mercado nacional y aumentar la exportación a los mercados extranjeros (principalmente Reino Unido y EEUU). De igual manera se debe aumentar la documentación investigativa sobre el cultivo de tomate, con el fin de lograr que esta mejora se realice en los 22 Departamentos productores de tomate.

5. ESTADO DEL ARTE

- ✓ Zlotopolski (2017), encontró que al realizar riego en suelo con agua magnetizada, la acumulación de sal fue menor en diferentes profundidades. 1.70 veces menor de los 0 a los 30 cm y 2.26 veces menor de los 30 a 60 cm. Además identificó que las concentraciones de sodio fueron 15% mayores para las fracciones de suelo regadas con agua no magnetizada.
- ✓ Iqbal et al. (2016), demostraron que las plantas de melón aumentaron su peso fresco y seco, debido a la aplicación de tratamientos magnéticos, los pesos frescos variaron de 515 g a los 540 g, generando un incremento porcentual entre los 2.9% a los 9.6%. Mientras que para los pesos en seco el incremento porcentual osciló entre 2% a 12.9%. A su vez encontraron que el área foliar de las plantas de melón que fueron estimuladas por agua tratada magnéticamente, obtuvieron un aumento entre los 16.7% al 50%. Finalmente encontraron que para los contenidos de clorofila estos también incrementaron entre el 21.8% al 50.7%, en comparación con aquellas plantas que no fueron tratadas magnéticamente.
- ✓ Katsoulas et al. (2015), compararon los resultados obtenidos de tres sistemas hidropónicos (cerrado, abierto y semi cerrado) y registraron que el sistema cerrado es más eficiente que el sistema abierto y ligeramente superior con respecto al sistema semi cerrado, en cuanto a la captación de agua se refiere. Esto es posible ya que el sistema posee una concentración de NaCl baja (2 mM), permitiéndole reciclar al sistema cerrado solución nutritiva, sin necesidad de aumentar con mayor frecuencia el volumen de agua para evitar efectos negativos de las sales tanto en el sistema como en la solución.
- ✓ Kather, et al. (2015), comprobaron que en época de crecimiento, cuando la disponibilidad de nutrientes y la tasa de flujo aumentan (4 a 6 L/h), el consumo de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) aumentan en 87.80%, 58.33%, 73.93%, 89.08%, y 74.31% respectivamente. Dichos aumentos fueron posibles de cuantificar en la prolongación del sistema radicular (32.74% de aumento) y en la extensión del brote (64.18% de aumento).
- ✓ Wortman (2015) expuso que el pH ideal en los sistemas hidropónicos oscila entre los 5.5 y los 6, ya que al existir un incremento del mismo se afectara la absorción de nutrientes, especialmente la de hierro y otros metales, generando una reducción en la disponibilidad de nitrógeno, que se manifestó en una disminución del verdor de las hojas, y cuyo efecto se manifiesta en la fotosíntesis y el rendimiento del cultivo.
- ✓ Sung et al, (2015) plantearon que la deficiencia de N, P o K, afectó la producción de energía, dado que atrofia de manera directa el metabolismo de los aminoácidos alterando las condiciones de desarrollo de la planta. Para la deficiencia de N, K y P se produjo una disminución de aminoácidos ácidos orgánicos y al aumento de azúcares solubles, por lo que el crecimiento fue atrofiado, la degradación de proteínas fue rápida y se presentaron cambios en actividades enzimáticas.

- ✓ Ahmad, B. en el 2014 al someter un cultivo de trigo hidropónico a estrés salino (NaCl) en diferentes concentraciones (20, 60 y 100 mmol/L) prescribió que los efectos deletéreos sobre la germinación, desarrollo radicular y formación de brotes no eran despreciables a pesar de la aplicación diferenciada. Además, planteó que la aplicación de dosis de silicio (4mmol/L) y nitrato de potasio (2mmol/L) evitan el desarrollo y la captación de Na por parte de las plantas.
- ✓ Paradiso et al. (2014) indicaron que el aumento de sales puede ser mayor o menor según el tipo de solución que se encuentre en el sistema, para una solución basada en nitratos (NO_3) fluctuó de mayor manera que aquella solución basada en Urea. Esto es debido a que una solución nítrica aumenta el crecimiento de la transpiración en las plantas, lo que deriva en un aumento de consumo de agua, y a su vez en un aumento del pH de la solución, por lo que fue necesario la aplicación de ácidos nítricos, para evitar inhibiciones de micro nutrientes.
- ✓ Kobayashi et al. 2013 concordaron que la viscosidad de una solución nutritiva para un cultivo hidropónico cuyo pH sea optimo (5.5 a 6.5) se ajusta entre los 1.196 a 1.203 mPa * S, también determinaron que la CE oscila entre los 6.62 a los 5.39 ds/m , existiendo un relación directamente proporcional entre viscosidad y CE, esto quiere decir que cuanto más iones exista en la solución su viscosidad será mayor, generando una variación en la SN que depende de la etapa fenológica del cultivo y la temperatura a lo cual el sistema se encuentre sometido.
- ✓ Borgognone et al. 2013 reafirmaron que la aplicación de N únicamente como NH_4^+ produce efectos negativos en el crecimiento de la planta, en número de hojas, el área y la biomasa seca de los brotes, esto es debido a que el pH en la zona radicular se acidifica deteriorando la membrana plástica de la raíz y como consecuencia reduciendo la absorción de Ca y Mg. En cuanto a la expansión foliar Borgognone et al, demostraron que al alto índice de amonio reduce la regulación osmótica de la planta.

No obstante pese a lo anterior se debe mencionar que no existe una gran investigación frente a la estimulación magnética de una solución nutritiva de un cultivo de tomate chonto hidropónico y por tanto se este trabajo adquiere el carácter de innovador.

6. METODOLOGÍA

6.1. LOCALIZACIÓN.

La investigación se realizó en condiciones de invernadero en el vivero ILAMA el cual se encuentra ubicado en la granja experimental de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR adscrito a la Universidad del Valle Cali, cuya altitud es 995 msnm y se ubica a 3°22'33.55"N y a los 76°31'58.43"W. La temperatura promedio anual es de 28.68 °C mientras que la precipitación media anual oscila los 1483.0 mm, además se estima que posee una humedad relativa del 73% y 162 h en promedio de brillo solar. Las plántulas de tomate chonto *Solanum lycopersicum* sometidas al experimento provienen del municipio de Cali (Dpto. Valle del Cauca) y son distribuidas por la empresa El Camino S.A.S.

6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue unifactorial (factor es la estimulación magnética de la solución) y completamente al azar, cuyos niveles fueron la SN con proceso magnético y la SN sin proceso magnético, por tanto este diseño comprenderá de dos tratamientos con diez repeticiones para un total de 20 unidades experimentales y tres testigos quienes a medida del desarrollo del experimento no tuvieron respuestas.

El experimento se dividió en dos Replicas, con el fin de demostrar la capacidad de repetición que debe existir en un experimento científico, sin embargo por problemas ajenos a las variables de investigación y a la investigación misma, la segunda Replica se redujo hasta una primera cosecha, a fin de poder demostrar evidencia del mismo.

Las unidades experimentales se encontraban en recipientes plásticos cerrados de 8 litros americanos c/u, poseían una manguera de distribución de solución, una manguera de aireación y una de recirculación, las mangueras de distribución y recirculación eran de color negro para evitar la incubación de microorganismos o algas y el diámetro de cada una fue de 8 y 16 mm. Además, en la parte superior contaba con guías para el crecimiento erecto de la plántula de tomate.

La distribución, aireación y recirculación de la solución nutritiva del sistema se encontró dotado de dos bombas de aireación y dos de circulación (AQUA 45W; 1.5 l/s), mientras que se utilizó un dispositivo de inducción magnética Quantum Biotek.

El dispositivo magnético posee una forma cilíndrica cuyo material es de policarbonato de 12 cm de longitud y 2,54 cm de diámetro interno. El campo magnético que generó varía de 0 a 156 mT (mili Tesla), tanto en la dirección longitudinal como en la dirección cilíndrica. La polaridad N-S del campo magnético también varió en ambas direcciones. Por lo tanto, la SN pasó a través de un campo magnético no uniforme a lo largo del dispositivo.

Las plántulas se trasplantaron a los 15 días de haber estado en semillero, y de ser regadas a diario. Una vez se ajustó el diseño experimental, se procedió a aplicar la solución nutritiva de la cual tendrán los nutrientes, regada por el criterio de Hoagland 50 %, el cual establece las siguientes concentraciones de nutrientes realizadas en un Stock para un primer Replica y para el segundo Replica una aplicación directa.

Tabla 3. Aplicación de fertilizantes por Stock. Ospina 2015.

Fertilizante	Cantidad requerida en 1 L de solución	Cantidad requerida en 80 L de solución
KNO ₃	202 g/L	100 ml Stock
Ca(NO ₃) ₂	472g/L	100 ml Stock
Fe-EDDHA	15g/L	60 ml Stock
MgSO ₄	439g/L	40 ml Stock
NH ₄ NO ₃	80g/L	40 ml Stock
KH ₂ PO ₄	136g/L	20 ml Stock
Elementos Menores	4.801 g/L	40 ml Stock

El siguiente esquema ilustra mejor el diseño experimental realizado:

Ilustración 4. Montaje experimental del sistema hidropónico.



6.3. VARIABLES DE ESTUDIO

El diseño de experimento anterior buscó evidenciar cambios en las siguientes variables de respuesta las cuales fueron clasificadas en SN como en la planta:

Tabla 4. Variables de respuesta en la SN.

Variables de Respuesta	Equipo de Medición	Periodicidad	Metodología
pH	Mettler Toledo	Una vez por semana	Sonda del pH metro introducida en la SN en cada tarro a nivel radicular. Medición realizada en días u horas de poca radiación solar

Conductividad Eléctrica	Conductivímetro Eléctrico (Thermo Electron)	Una vez por semana	Sonda del conductivímetro introducida en la SN en cada tarro a nivel radicular. Medición realizada en días u horas de poca radiación solar
Viscosidad	Viscosímetro de Brookfield	Variable	Toma de SN de las mangueras de distribución en un vaso precipitado, que luego fue introducido en el equipo de medición.
Tensión Superficial	Método del anillo	Variable	El anillo fue colgado en un dinamómetro, conectado a una interfaz (LD Didáctica, Alemania), que muestra la fuerza en una línea de tiempo. Se tomaron muestras de la SN recirculada en el mismo sistema hidropónico, controlando la temperatura a 25 ° C. La muestra se colocó en un vaso de precipitados que toca el anillo en una base ajustable, para sumergirlo y obtener las lecturas de tensión máxima varias veces, en mN (mili Newton).

Tabla 5. Variables de respuesta planta.

Variables de Respuesta	Método a Utilizar	Periodicidad	Metodología
FE (Filtrado de Electrolitos)	Rachmilevitch et al. 2006	Tres veces por experimento	Cortar fragmentos de la tercera rama más joven, lavarlos con agua destilada, agitarlos durante 4 horas seguidas en el agitador orbital, y auto clavar para esterilizar.
AFE (Área Foliar Específica)		Inicio de cosecha	Extraer de las hojas más jóvenes en una circunferencia de 2.5cm de radio, secados al horno 24 horas a 80°C, pesarlos en una balanza analítica
Ψ hídrico de la hoja	Scholander	Tres veces por Replica	
Materia Seca	Peso después de secar al horno	Final	Despiezar la planta en Hojas, tallo, ramas y raíces de cada planta, pesarlas en balanza y dejarlas secar durante una semana a sol natural, para pesar nuevamente
Frutos	Peso después de secar al horno	Final	Extracción de los frutos por planta, rebanar, colocar en bandejas, introducir al horno y poner a secar a 120°C, una vez secos pesar.

6.4. MANEJO AGRONÓMICO

6.4.1. Manejo de vivero

Las plántulas fueron germinadas en bandejas de plástico recubierta con turba canadiense, durante este proceso se las regó dos veces al día y fueron expuestas al sol un promedio de 4 horas diarias. Además, para evitar infección se aplicó en la última etapa de semillero una dosis pequeña de agua ajo con el fin de prevenir una infección durante el proceso de trasplante.

6.4.2. Manejo de fertilidad

La fertilidad fue realizada con una solución Hoagland, de la siguiente manera:

Tabla 6. Aplicación de la Solucion *Hoagland* Replica I y Replica II

SOLUCIÓN HOAGLAND BI	
Día	Litros de Solución
30 de Junio 2017	30
15 de Julio 2017	120
17 de Julio 2017	170
19 de Julio 2017	90
28 de Julio 2017	80
31 de Julio 2017	80
SOLUCIÓN HOAGLAND BII	
Día	Litros de Solución
31 de Octubre 2017	80
7 de Noviembre 2017	80
14 de Noviembre 2017	80
28 de Noviembre 2017	80
2 de Diciembre 2017	150

6.4.3. Manejo de plagas y enfermedades

El control de plagas se realizó a partir del MIP, por lo que el seguimiento a las plantas de tomate durante todo su desarrollo fue constante, se ejecutó erradicación manual de gusano trozador para ambos Replicas, así mismo se realizaron trampas cromáticas a fin de evitar la aparición de los mismos, también se ejecutaron continuas fumigaciones con ajo en las plantas lo que generó la prevención de aparición de otras plagas.

Por último se hizo una fumigación reducida con Micobiol en la etapa de finalización de cosecha a fin de evitar que las plantas fuesen infectadas por algún agente patógeno.

6.5. VARIABLES ESTADÍSTICAS

Con los datos obtenidos se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

- Estadística Descriptiva (algunos casos descarte de datos)
- Verificación de la homogeneidad de varianzas
- Prueba de t student para los dos tratamientos muestreados y Validación por el programa SPSS 2.5.

7. RESULTADOS

Las siguientes convenciones permitirán interpretar mejor las tablas 7 y 8:

- FE Et. Ffrut (Filtrado de electrolitos etapa formación de fruto)
- *AFE (Área Foliar Especifica)
- Ψ Hoja (Potencial de Hoja)
- Abs (Absoluto)
- PS (Peso Seco)

Tabla 7. Valores promedio de las variables de respuesta cuantificadas para los tratamientos Replica 1.

Trat.	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Viscosidad (cps)	%FE Et. Floración	%FE Et. Ffrut.	AFE	Frutos Abs.	PS (g) Frutos	PS (g) Tallo	PS (g) Hojas	PS (g) Raíz
SN Mag.	6.14	1193.97	1.73	11.82	36.95	0.0173	391	869.21	560.1	646.4	46.7
SN no Mag.	6.28	1205.58	1.81	10.82	33.88	0.0167	199	622.5	548.9	619.1	36.7

Tabla 8. Valores promedio de las variables de respuesta cuantificadas para los tratamientos Replica 2.

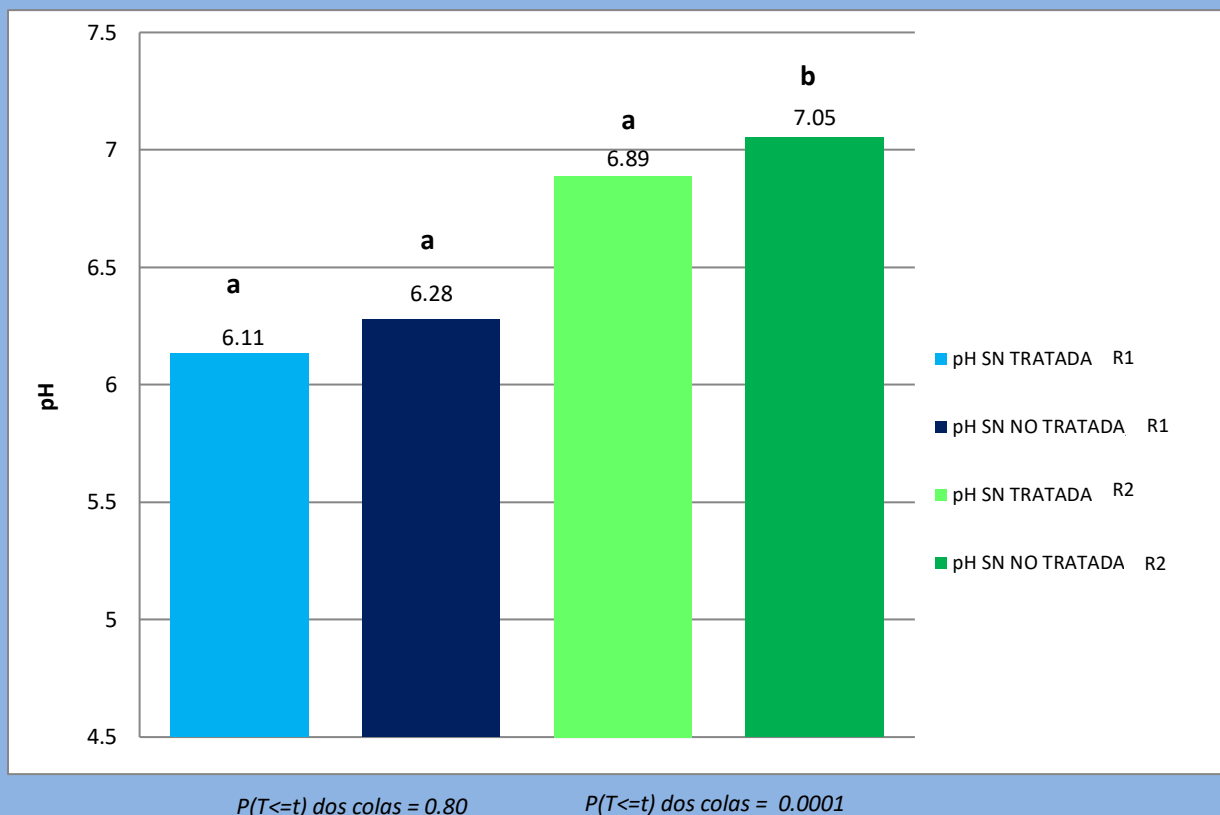
Trat.	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{m}$)	Viscosidad (cps)	%FE Et. Flor	%FE Et. Ffrut.	AFE	ψ . Hoja	Frutos Abs.	PS (g) Frutos	PS (g) Tallo	PS (g) Hojas	PS (g) Raíz
SN Mag.	6.89	3012.72	1.56	25	27.94	0.0234	0.69	162	293.2	429.9	371.9	61.5
SN no Mag.	7.05	2044.42	1.46	24.5	26.45	0.0205	0.69	100	187.5	300.2	332.8	46.7

8. DISCUSIÓN

Para determinar el rechazo de la hipótesis nula se utilizó la prueba de significancia para varianza iguales, la cual determina que a valores menores a 0.1 existe una significancia en los datos. Las variables medidas en la SN fluctuaron entre la posibilidad de rechazar la hipótesis nula o no tener la suficiente evidencia estadística para poder rechazarla, a pesar de ello, las variables que determinan la existencia de una diferencia entre tratamientos son aquellas cuyo resultado final es el factor determinante para aplicar o no esta tecnología (frutos cosechados y peso de los frutos).

8.1. pH en la solución 1era Replica

Gráfica 2. Comparación de pH entre Tratamientos y Replicas



En las plantas con SN magnetizada se encontró un promedio acumulado de 6.11 mientras para las plantas que su SN no fue magnetizada se registró un promedio acumulado de 6.28. Ambos valores son aceptados para un desarrollo óptimo del cultivo, tal como lo referencian Chávez et al. (2006), Kobayashi et al. (2013), López J. (2014) y Wortman (2015), quienes estipulan que los rango pueden fluctuar entre los 5.5 a los 6.5. Estas variaciones de las SN en un mismo cultivo y con un mismo tipo de sistema se producen dado que las captación de la SN es selectiva y acumulativa (Mejía 2010), además de no presentar un carácter estático.

La presencia del imán, generó un cambio de intensidad en los enlaces de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals (Gou et al. 2012), que se manifestó en la variación de las fuerzas intermoleculares e intramoleculares, permitiendo una reorganización más efectiva en las moléculas de agua y la disminución de la hidrofobia, dando como resultado que los iones fuesen captados de manera más adecuada, evitando que en la SN se presentasen excesos de ácidos o bases, tal como fue encontrado por (Ospina, 2016).

La asimilación en los elementos en las plantas, ya sea por intercambio iónico (bomba de hidrogeno) o por la disponibilidad de cationes necesarios para el crecimiento, determinó que en la SN magnetizada existiese una liberación de ácidos orgánicos en pequeñas cantidades. También se presentó acidez en la SN, dado que tuvo una gran cantidad de elementos que contenían NO_3 , lo que originó que al momento de asimilar el NO_3 para abastecer y regular el pH

de las raíces, se genera liberación de iones OH^- y HCO_3^- , sintetizando los compuestos en ácidos orgánicos (Lara 2000).

Es posible demostrar que las SN fueron adecuadas para ambos tratamientos, ya que no presentaron valores extremos ni por fuera del rango sugerido; cuando las SN son altamente ácidas ($\text{pH} < 4.5$) se podrán presentar problemas fisiológicos en las plantas dado el deterioro de la membrana plástica de la raíz, lo que no permite la absorción de elementos (Borgognone et al. 2013). Mientras que para SN alcalinas ($\text{pH} > 7.5$), se evidencia una reducción en la asimilación de nutrientes (Fe, K, N) además de la estimulación de bicarbonatos, CaSO_4 y la presencia de Na, estableciendo un deterioro en el sistema como tal (Wortman 2015), (Kobyashi et al. 2013) y (Chávez et al, 2006).

Además se encontró el error de muestreo para las plantas cuya SN fue tratada con un imán fue del 1.70% y para plantas cuya SN no fue tratada fue del 1.48%, por lo tanto se puede concluir que los datos muestreados con el pH de Mettler son confiables, pues se encuentran en el rango aceptable de error, a pesar de ello, no se encuentra la evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula.

8.1.1. pH en la solución 2da Replica.

En las plantas cuya SN fue magnetizada se encontró un promedio acumulado de 6.89 valor superior por 0.39 al aceptado para un proceso de crecimiento según lo referenciado anteriormente (5.5 a los 6.5), sin embargo los autores establecen que en cultivos de hortalizas el pH puede tener valores hasta de 6.8. Para plantas cuya SN fue sin magnetización se encontró un promedio acumulado de 7.05, valor superior en 0.55 según el límite planteado por los autores anteriormente mencionados.

En la 2da Replica se presentó un valor de pH mucho más alto al de la 1era Replica, debido a que la SN se conservó durante más tiempo dado el periodo de invierno, que a su vez generó una tasa menor de consumo de SN presentando una gran cantidad de solutos en la solución, sobre todo cationes. Esto también generó que la asimilación de los iones fuese más pausado debido a que la velocidad de absorción se redujo para cationes como K^+ los cuales en temperaturas cercanas a 40°C son rápidamente absorbidos. (Mejía 2010)

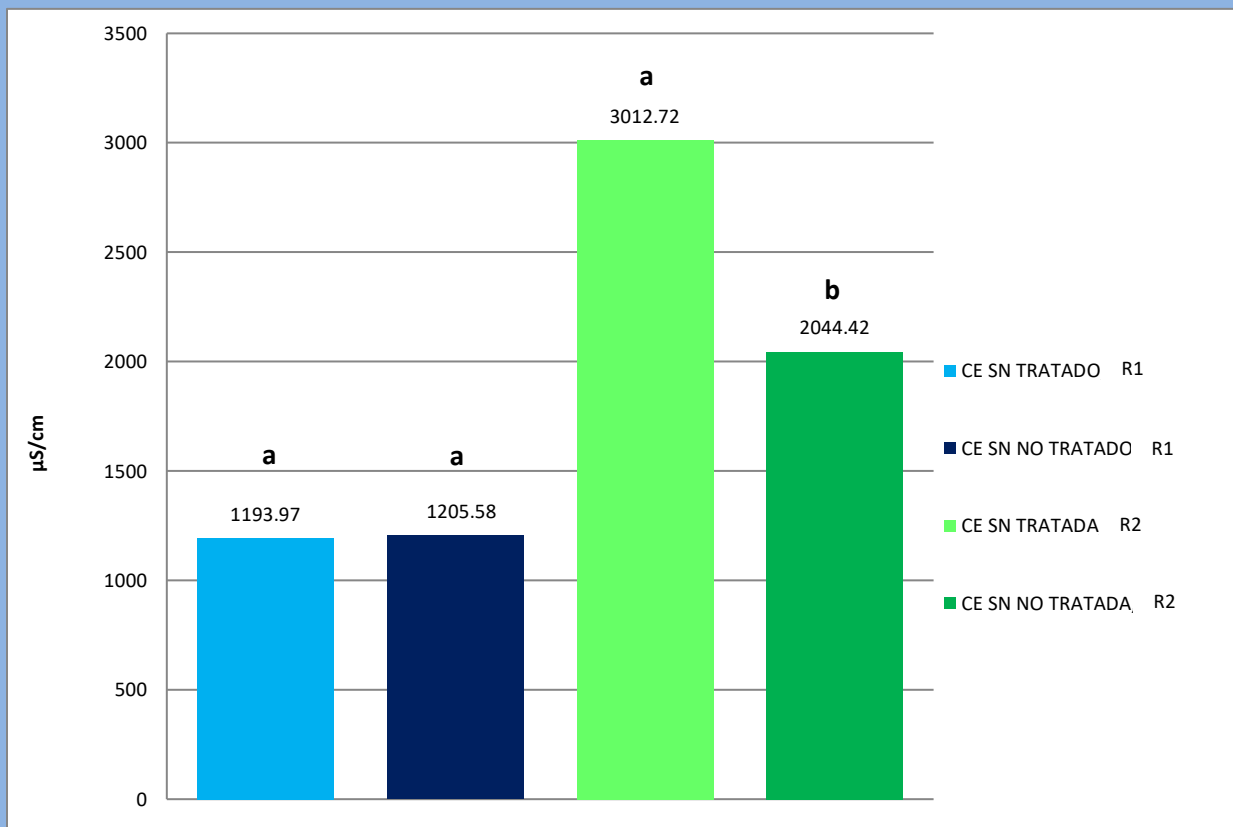
En contra parte la absorción de aniones fue mayor, por lo que la planta presentó una acumulación importante de N sobre todo en su forma NO_3^- (Lara 2000), permitiéndole desarrollar de manera más acelerada el crecimiento y brote de las flores. Sin embargo los valores de pH en las SN, permitieron determinar que las SN de las plantas no era tóxica ni por acumulación de HCO_3^- , ni por disociación de H_3PO_4 , ni por una concentración de más de 10% de NH_4^+ en la SN. (Lara 2000)

Esto es debido a que las propiedades del imán sobre la SN (reorganización y ruptura de fuerzas) siguen presentes, dado a la potencia del imán y a la ausencia de cebado magnético. Permitiendo que no existiese inhibición o precipitación por excesos de elementos.

Igualmente los errores de muestreo que se obtuvieron fueron del 0.27 % y de 1% respectivamente, mostrando una disminución en el procedimiento de muestreo y análisis de datos, lo que permitió determinar que para la 2da Replica si existe diferencia significativa.

8.2. CE en la solución 1era Replica

Gráfica 3. Comparación de CE entre Tratamientos y Replicas



$P(T \leq t)$ dos colas = 0.75

$P(T \leq t)$ dos colas = 0.0001

El contenido de sales disueltas en un medio acuoso para valores mayores a los 2.5 dS/m genera riesgos perjudiciales para las plantas en suelo (Chávez et al, 2006), en sistema hidropónico estos valores pueden aumentar a valores de 6.62 ds/m (Kobayashi et al.2013) dependiendo la tolerancia del cultivo.

Para un cultivo de tomate el cual es tolerante a la salinidad, se registraron valores de 1.19 dS/m para las SN tratada magnéticamente y 1.20 ds/m para la SN sin tratamiento, en consecuencia se puede afirmar que las plantas cuya SN estaba con tratamiento magnético y aquellas sin el tratamiento no presentan salinidad en sus respectivas SN.

Se evidencio que existió una concentración de sales de 1.02 veces mayor en la SN a la cual no se realizó magnetización que aquella SN magnetizada (0.4%). Este resultado es afín a los resultados encontrados por Zlotopolski (2017), quien determinó que la acumulación de sales es menor para las plantas a las que se les suministra agua magnetizada. Igualmente Lara (2000) encontró que en tomate hidropónico el aumento de CE, determino un mayor consumo de energía para la asimilación de los procesos metabólicos, que posteriormente se vio reflejado en una reducción de la cosecha (ver gráfica 9).

Se corroboró que la concentración de sales para un SN basada en nitratos, generó estimulación en la transpiración de las plantas, aumentando el consumo de agua de la solución, efecto registrado por Paradiso et al. (2014).

Para ambas SN la concentración de NaCl estuvieron por debajo de los 2mM, ratificando lo estipulado por Katsoulas et al. (2015) quienes confirmaron que en sistemas cerrados cuya concentración de NaCl estaba por debajo de estos valores generan un mayor aprovechamiento de la solución, resultado que se observa en la materia seca, siendo ligeramente superior el tratamiento magnético (ver gráfica 8).

También al presentar una CE menor a 2ds/m las deficiencias nutricionales aunque no fueron alarmantes si fueron sustancialmente importantes, sobretodo en la época de cosecha, además el desarrollo de las plantas fue más lento que con respecto a la 2da Replica.

Finalmente el error de muestreo de esta variable fue de 0.30% para ambos tratamientos, por lo que se evidenció que para la 1era Replica la CE en ambas soluciones no generó diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

8.2.1. CE en la solución 2da Replica

Se registraron valores de 3 ds/m para las SN tratada magnéticamente y 2.2 ds/m para la SN sin tratamiento, en consecuencia se puede afirmar que ninguno de los tratamientos presentan salinidad en sus respectivas SN (Kobayashi et al. 2013, estipulo que las plantas hidropónicas poseen valores hasta de 6 ds/m) además se corroboró que el aumento de la CE en ambas SN está ligado a factores de temperatura que generaron una reducción en la tasa de evaporación y en la captación de iones que podrían ser mutuamente excluyentes.

Asimismo se encontró que existe una concentración de sales de 1.4 veces mayor en la SN magnetizada que aquella SN no magnetizada, lo que determina que la SN magnetizada no solo obtuvo la concentración de sales propicia para esto, sino que además proporcionó de manera adecuada sales y minerales para el desarrollo de la planta. Para la 2da Replica se evidencio también que la concentración de sales para las SN no estimuló una tasa alta de transpiración de las plantas, pues el nivel de la solución se mantuvo estándar durante varios periodos de tiempo, siendo necesario aumentar la solución en un tiempo más reducido iniciando la etapa de fructificación.

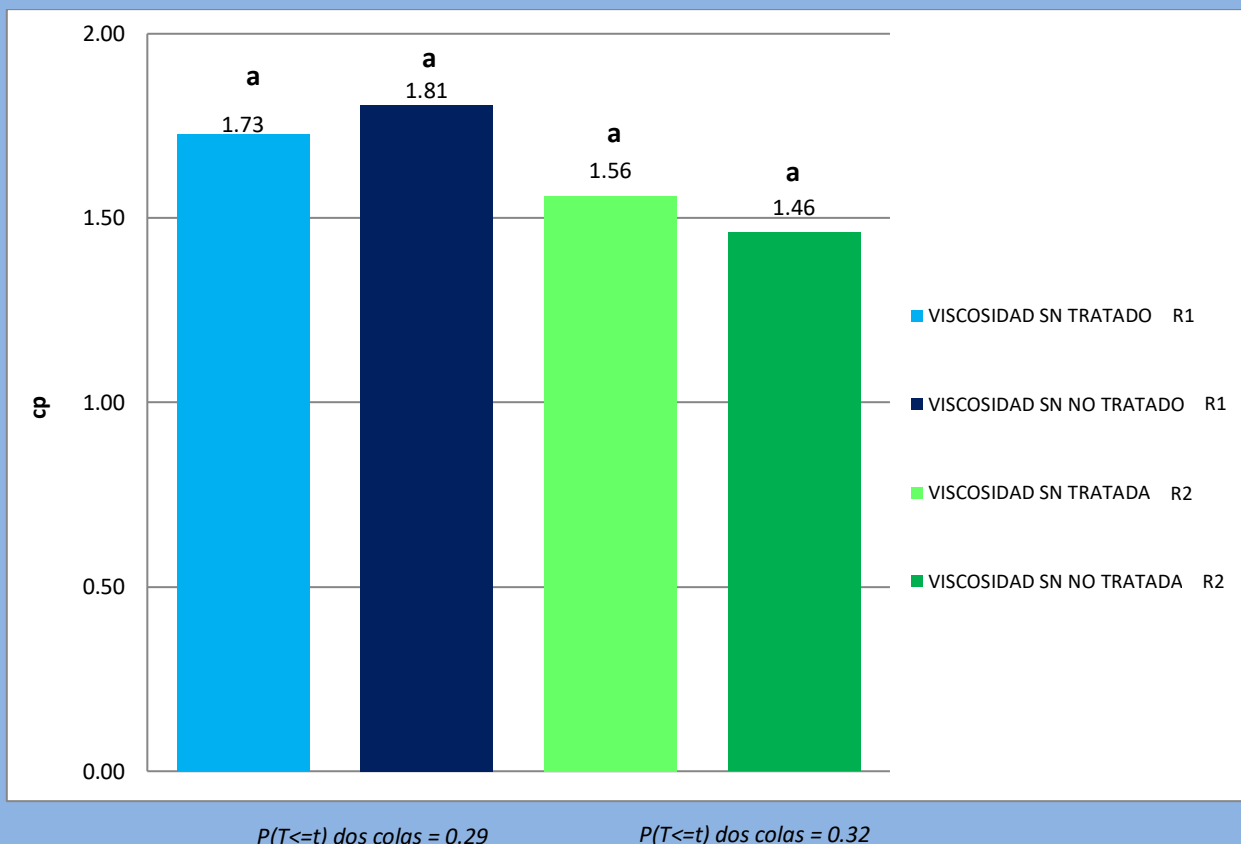
Estos niveles el consumo de energía de las plantas para la asimilación de los nutrientes fueron los adecuados pues no se encontraron efectos deletéreos sobre la germinación, desarrollo radicular y formación de brotes tal como fue registrado por Ahmad, B. 2014, para un cultivo de trigo con estrés salino (cantidades de 20, 60 y 100 mmol/L de NaCl). Se debe mencionar que el desarrollo de las plantas fue no solamente mayor sino acorde, dado que no se evidencio tan altamente deficiencias nutricionales ni de deficiencias en la absorción del agua.

Para ambas SN la concentración de NaCl estuvieron por debajo de los 2mM, ratificando lo estipulado por Katsoulas et al. (2015) quienes corroboraron que en sistemas cerrados cuya concentración de NaCl estaba por debajo de estos valores, generaba un aprovechamiento más eficaz de la solución, lo que se evidencio en el desarrollo de las plantas y se demuestra en la gráfica 8, la cual hace un comparativo de materia seca entre Replicas.

Por último el error de muestreo de esta variable fue de 0.30% para ambos tratamientos. Sin embargo se evidenció que para la 2ra Replica la CE en ambas soluciones genero diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

8.3. Viscosidad en la solución 1era Replica

Gráfica 4. Comparación de Viscosidad entre Tratamientos y Replicas



Utilizando el Viscosímetro de Brookfield se captaron tres mediciones comprendidas entre las etapas pre floración, floración y desarrollo del fruto. Obteniendo una viscosidad promedio total de 1.70 centipoise (1.7 mPa*S) para una SN magnetizada y 1.80 centipoise (1.8 mPa*S) para una SN sin magnetizar.

Se encontró que existe una relación directamente proporcional entre viscosidad y CE, por tanto una SN cuya CE en la que exista una concentración de iones mayor corresponderá a una viscosidad mayor (Kobayashi et al.2013). Además la SN no magnetizada fue 1.06 veces más viscosa que la SN magnetizada, correlacionándose al valor registrado de CE entre soluciones (1.01 veces más para SN no magnetizada).

Igualmente la etapa que mayor variación de viscosidad entre tratamientos, fue la del inicio de la floración, cuya razón fue de 1.17 veces mayor para SN sin magnetismo, análogamente la razón de CE entre tratamientos fue de 1.12 veces mayor. Esto permite corroborar la establecido por Kobayashi et al 2013, quienes determinaron que la viscosidad de la SN también depende de la etapa fenológica del cultivo y la temperatura del sistema.

Los valores obtenidos son superiores a los establecidos por Kobayashi et al. 2013, según los cuales la viscosidad de una solución nutritiva para un cultivo hidropónico cuyo pH sea óptimo (5.5 a 6.5) se ajusta entre los 1.196 a 1.203 mPa * S, por lo cual se puede afirmar que gran parte de la recirculación de la SN contenida una alta cantidad de iones que no eran aprovechados por la planta dado la posible precipitación de algunos de estos debido a las altas temperaturas registradas, además se pudo presentar que durante los procesos de aplicación parte de la SN fuese adherida a las mangueras de distribución.

Para finalizar se verificó que el porcentaje de error para los datos fue de 2.21% y 1.48% respectivamente. Estos errores un poco más elevados que el de los demás procedimientos, pero están dentro del porcentaje de errores aceptados para un experimento (menores al 10%), además estadísticamente no se pudo corroborar diferencia entre tratamientos.

8.3.1. Viscosidad en la solución 2da Replic

Utilizando el Viscosímetro de Bronkfield se captaron dos mediciones, floración y desarrollo del fruto. Obteniendo una viscosidad promedio total de 1.56 centipoise (1.6 mPa*S) para una SN magnetizada y 1.46 centipoise (1.5 mPa*S) para una SN sin magnetizar.

Los resultados tuvieron una relación directamente proporcional entre viscosidad y CE, la diferencia fue de 1.07 veces mayor para una SN magnetizada, valor ligeramente inferior a la razón entre CE. Esto es posible porque la SN de la 2da Replic contenía más iones en la solución que permitía que el efecto del imán y del cambio de intensidad en los enlaces de hidrógeno y en las fuerzas de Van der Waals estuvieran mayormente aprovechados por el sistema radicular de la planta, por lo que generaba que la SN que era recirculada tuviese en menor concentración los iones. Además la reducción de la temperatura permitió que la precipitación de iones no fuese tan categórica.

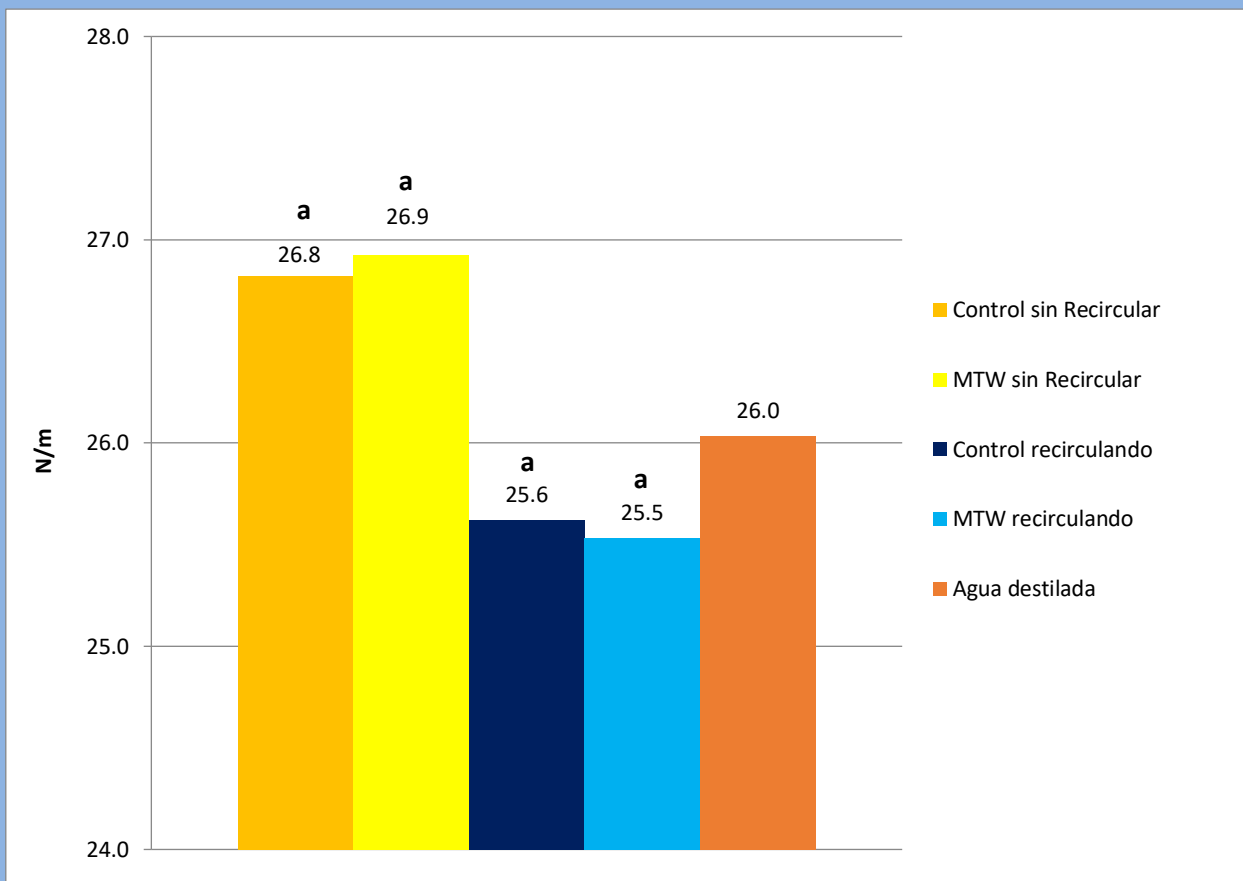
Se encontró que la mayor variación en la viscosidad fue al inicio de la floración en los tratamientos, cuya razón fue de 1.12 veces mayor para la SN magnetizada, análogamente la razón de CE para una SN magnetizada fue 1.45 veces mayor. Esto permite confirmar lo postulado anteriormente acerca de la estrecha relación entre la viscosidad, la CE, la etapa fenológica del cultivo y la temperatura del sistema.

Igual que en la 1era Replic los valores obtenidos no se encuentran en el rango establecido por Kobayashi et al. 2013, por lo cual se puede afirmar que las bajas temperaturas sufridas a lo largo del desarrollo del experimento propiciaron el aumento de la viscosidad en la SN de la medición, siguiendo el principio estipulado por White.

Además se verificó que el porcentaje de error para los datos fue de 4.36% y 2.93% respectivamente. Estos errores un poco más elevados que el de los demás procedimientos, pero están dentro del porcentaje de errores aceptados para un experimento (menores al 10%), además estadísticamente no se pudo corroborar diferencia entre tratamientos.

8.4. Tensión Superficial 1er Replica

Gráfica 5. Comparación de la tensión superficial de la SN.



Se observó que el coeficiente de tensión fue para ambos tratamientos menor una vez se inició la recirculación del sistema, a su vez se encontró que en el tratamiento magnético para SN la tensión fue menor comparativamente con el tratamiento sin magnetización. Esto es debido a la deionización por efecto del imán tal como lo cita Ospina et al 2016 quien a su vez sustenta su argumento en Huo et al 2011 y Hasanni et al 2015.

La grafica 6 (Método del anillo colgante) explica mejor este comportamiento, encontrando que las fuerzas de tensión que ejerce la SN son mayores cuando la SN no ha sido magnetizada (2.7% más cuando no se encuentra recirculada y 0.2% para cuando hay recirculación). Por tanto la SN sin magnetizar presentó más hidrofobia en sus moléculas de H_2O , esta hidrofobia mostró un decrecimiento en la SN magnetizada continuo y que mantiene una sustancial diferencia en función del tiempo.

Además la reducción de la hidrofobia para tratamientos recirculados fue mayor en comparación con el H_2O destilada, se encontró que fue menor en un 0.9% para plantas con tratamiento magnético y en 0.8% para las plantas si tratamiento magnético, por lo cual se evidencia que el efecto del imán aunque ligero empieza a demostrar sus propiedades en la reducción, las cuales se estima que aumentaron a medida que pasa el tiempo de exposición.

Lo anterior actuó en el desarrollo vegetativo de las plantas, pues la tensión superficial está relacionada al ascenso de la savia bruta y del transporte del H₂O desde sus raíces hasta sus estomas, por tanto al aplicar un campo magnético sobre la SN se generó una disminución de las fuerzas de cizalla y tracción entre iones, que a su vez generaron una formación de nuevos enlaces H⁺ y una reducción de la energía molecular para su transporte (Cai et al. 2009).

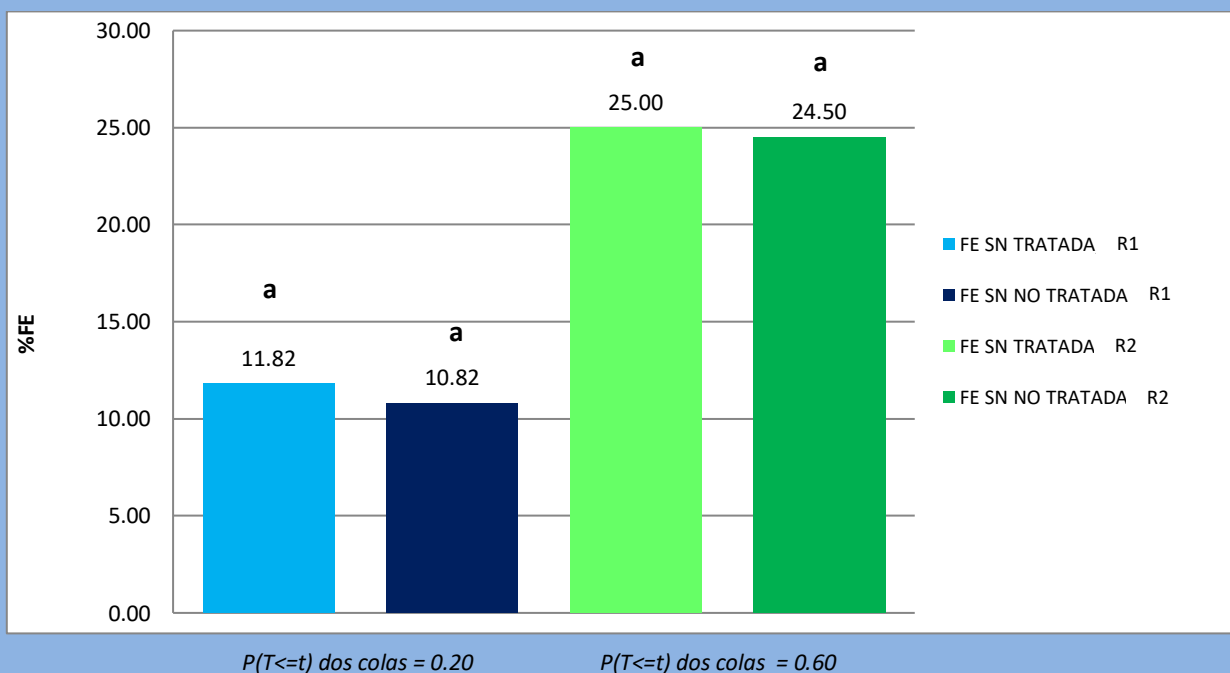
Además la magnetización de la SN permitió que aumentara el área superficial de contacto alrededor de las paredes celulares lo que estimuló la evaporación de las moléculas generando que existan nuevas fuerzas físicas que permitieran el impulso del agua a través del sistema vascular de la planta. (Ospina 2016)

La reducción en la tensión superficial también generó que la planta disminuyera el consumo de energía en el transporte de la savia bruta lo que a su vez estimula que la energía ganada fuese utilizada en la transformación a savia elaborada o en aumentar la capacidad de la membrana celular para asimilar iones pequeños y moléculas polares grandes (Mejía 2010), permitiendo que el alimento con el que la planta satisface sus necesidades metabólicas estuviese más disponible.

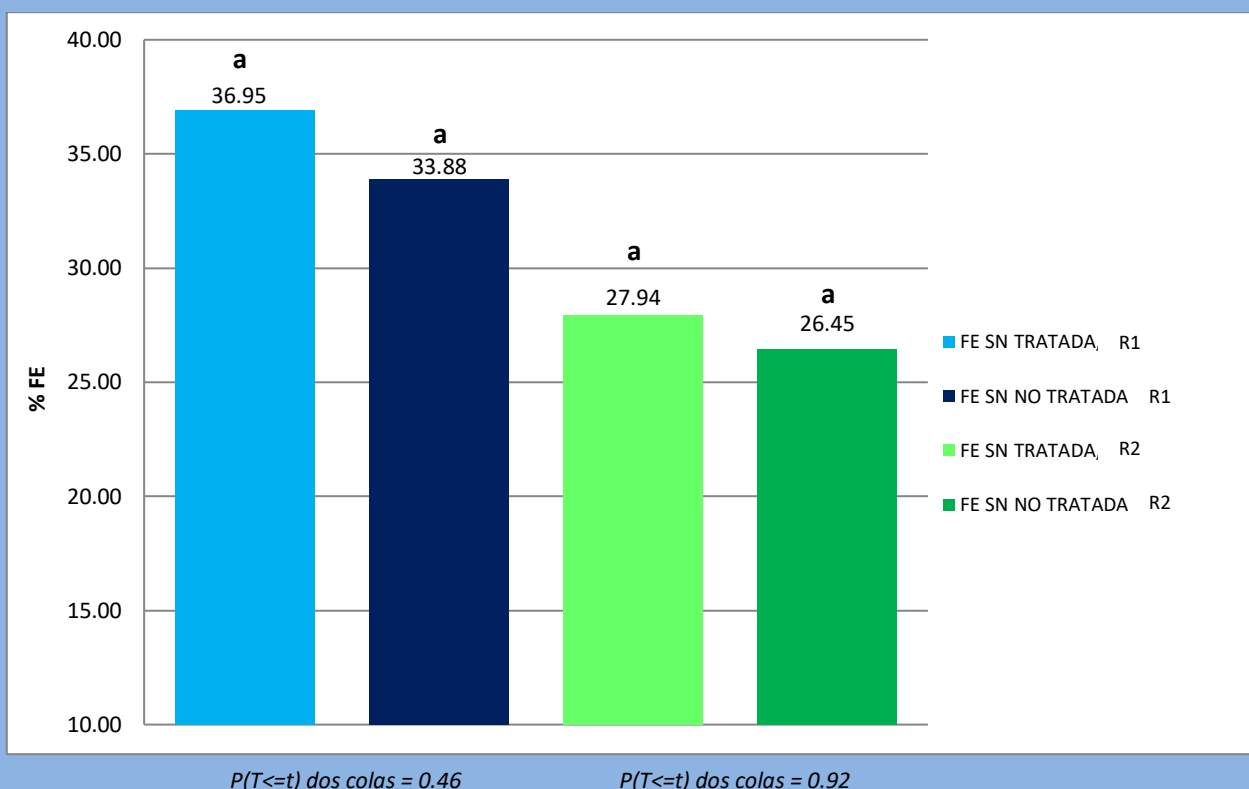
Finalmente tal como se evidencia en el gráfico en SN tratada magnéticamente después de un periodo de tiempo obtuvo los resultados más bajos en cuanto a la fuerza de tensión superficial lo que permite afirmar que la SN no solo fue magnetizada por el paso a través del imán, sino que a su vez le permitió poseer una memoria magnética que influyó en la estabilidad de la misma.

8.5. Filtrado por Electrolitos 1era y 2da Replica

Gráfica 6. Comparación de Filtrado de Electrolitos entre Tratamientos y Replicas, etapa de floración



Gráfica 7. Comparación de Filtrado de Electrolitos entre Tratamientos y Replicas, etapa de maduración de frutos.



La prueba de electrolitos para la estabilidad de la membrana fue superior en las plantas tratadas magnéticamente para ambas Replicas (4.44%; 3.98% más para la etapa de desarrollo y floración) y (4.33%; 2.79% más para la etapa de formación de frutos).

Se evidencia un crecimiento ligeramente diferenciado según las etapas del cultivo en la que se realizó la prueba, esta diferencia fue presente para ambas Replicas aunque en menor proporción para la Replica 1 (1.13% menos). Se encontró que en la 1era Replica tuvo una mayor concentración de electrolitos filtrados, lo cual permite explicar porque la 2da Replica presentó un mayor desarrollo en sus procesos fisiológicos en un menor tiempo.

Esto es posible dado que para la primera Replica por las mismas condiciones de temperatura presentadas generaban que la planta consumía una mayor cantidad de iones K^+ , generando inhibición del ion Ca^{2+} (Mejía 2010).

El filtrado de electrolitos obtuvo una reducción en la etapa de formación del fruto de un 0.11% y de 1.24% en la SN magnetizada, esta correlacionada a la variación en la selectividad iónica de las plantas con una SN magnetizada, dado que para el periodo de formación de frutos los iones Ca^{2+} deben empezar a ser mayormente asimilados, y por tanto en una reducción del filtrado de electrolitos (Ospina 2016).

Los frutos de la 2da Replica presentaron mejores condiciones organolépticas (tamaño, color), pues el filtrado de electrolitos (iones transferido de la planta a la SN) para las plantas de la 2da Replica fue más uniforme, siendo los iones Ca^{2+} los mayormente cedidos (filtrados) de la SN

magnetizada. De igual manera se presentó el fenómeno de sinergismo (Mejía 2010) para el Replica dos dado que existía en la SN una mayor disponibilidad de iones.

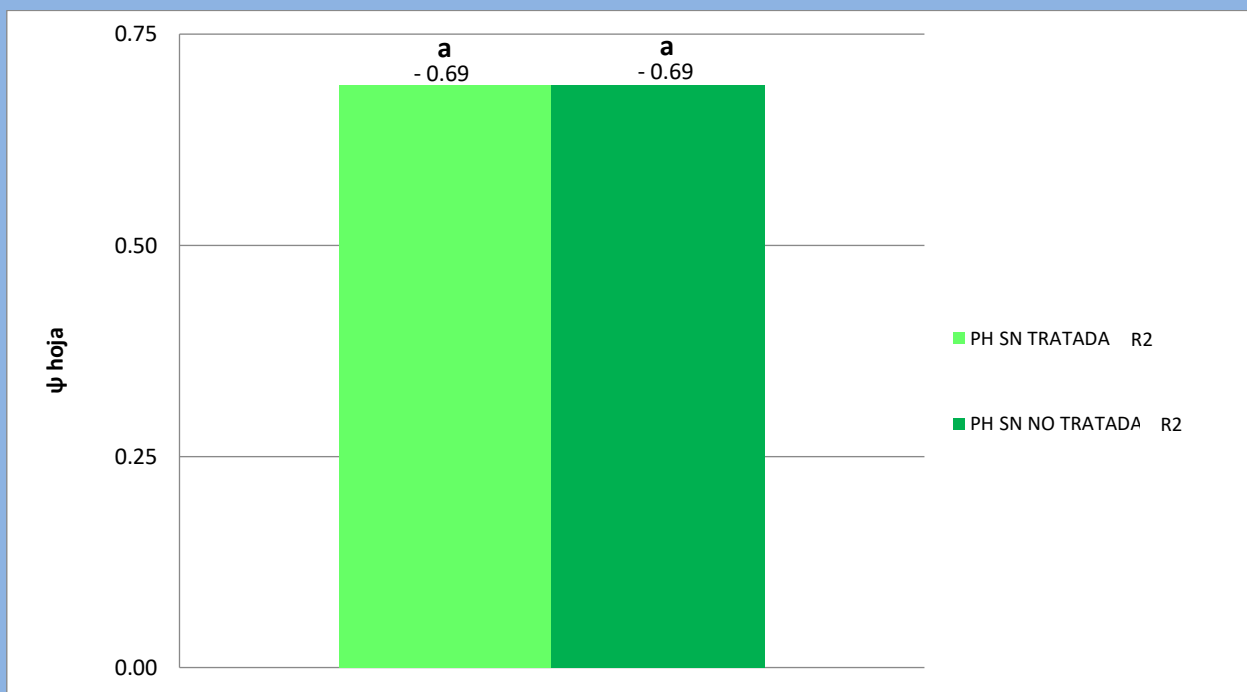
Sin embargo, tal como es citado por Ospina 2016 se encontró que la FE para el primer Replica oscilo dentro de los rangos estipulados (inclusive menor), y que la FE para el 2do Replica fue estándar a lo encontrado por Ospina 2016, por lo que la fuga de electrolitos por efecto del endurecimiento de la membrana queda descartada al menos para las etapas de desarrollo y fructificación. Esto permite concluir que la estabilidad de la membrana en plantas de tomate cultivadas hidropónicamente es mayor en aquellas cuya SN no es magnetizada (Ospina 2016).

Además se debe mencionar que para la cuantificación de los electrolitos en la SN se encontró un porcentaje de error de muestreo del 2.35% y 5.04% para los datos pertenecientes a una SN magnetizada y una SN sin magnetizar de la 1era Replica, y de un 1.86% y 3.70% para los datos pertenecientes a una SN magnetizada y una SN sin magnetizar de la 2da Replica, el conjunto de errores pertenecientes a las mediciones realizadas en época de formación de frutos y se encuentra en el intervalo aceptado de error para un experimento.

No obstante para el parámetro de FE no se encontró la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

8.6. Potencial Hídrico de Hoja 2da Replica

Gráfica 8. Comparación del Potencial de Hoja entre tratamientos del 2da Repetición



$P(T \leq t) \text{ dos colas} = 0.70$

El potencial de hoja es igual para ambos tratamientos, alcanzando valores de -0.69 MPa. Esto permitió inferir que ambos tratamientos implementaron una misma cantidad de energía molecular, por lo que la conducción de H₂O fue más adecuada para las plantas cuya SN fue

magnetizada debida a la reducción de la tensión superficial y no a una reducción en el potencial hídrico de la hoja.

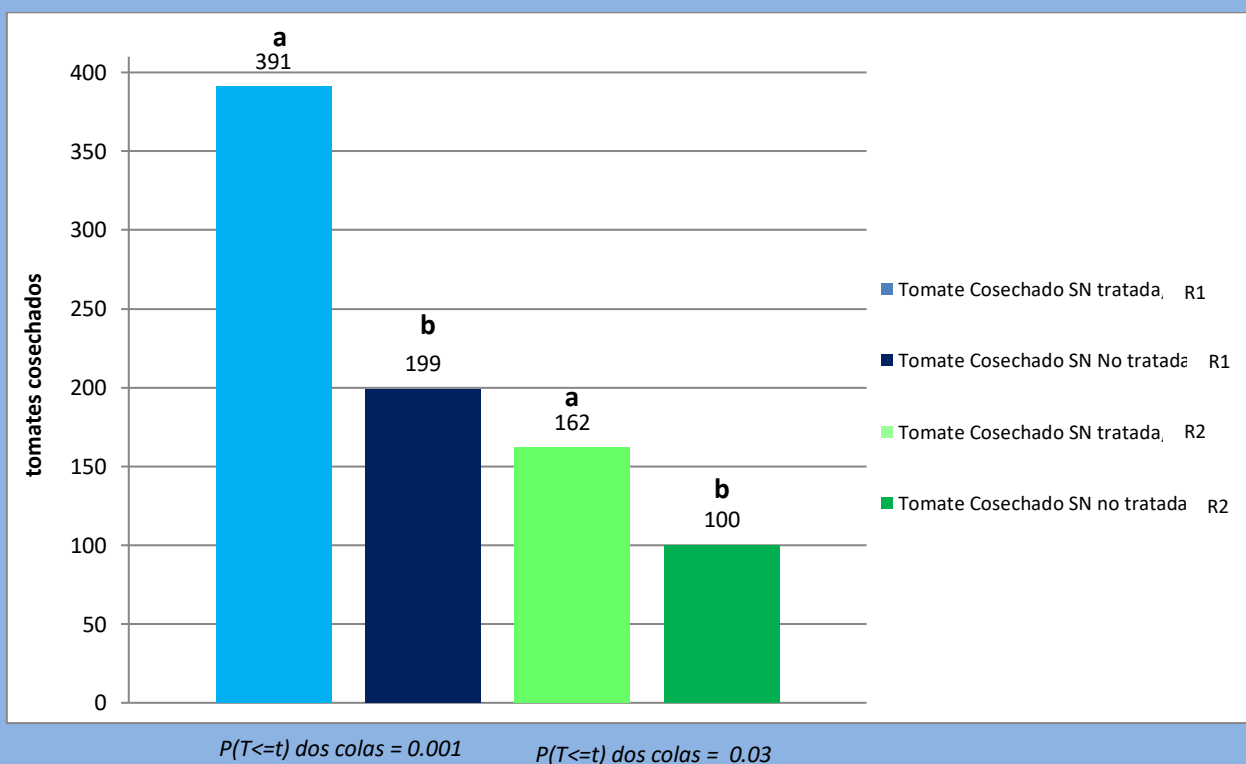
Los resultados encontrados permiten reforzar lo planteado por Ospina 2016, donde se estableció que el efecto del imán es independiente del sustrato o suelo que se utilice, pues su respuesta no solo dependerá del donde se aplique, sino también de la cantidad de campo magnético que genere el imán. Sin embargo al encontrar un valor menor al estipulado por Ospina 2016 (-0.30MPa) se puede determinar que el efecto del imán si sufre una reducción a tener en cuenta cuando el campo magnético es aplicado al suelo o cuando se encuentra en condiciones foto lumínicas de luz solar.

La conductancia estomática posee una relación directamente proporcional al potencial de hoja, por lo que la diferencia en los procesos de rendimiento y cosecha fueron a partir del efecto del imán y no de algún desbalance hídrico en el cultivo. Existe relación con el aumento de la fotosíntesis y la tasa de transpiración dado que los estomas amplían su apertura como resultado de las fuerzas del campo magnético sobre los procesos fisicoquímicos en la planta.

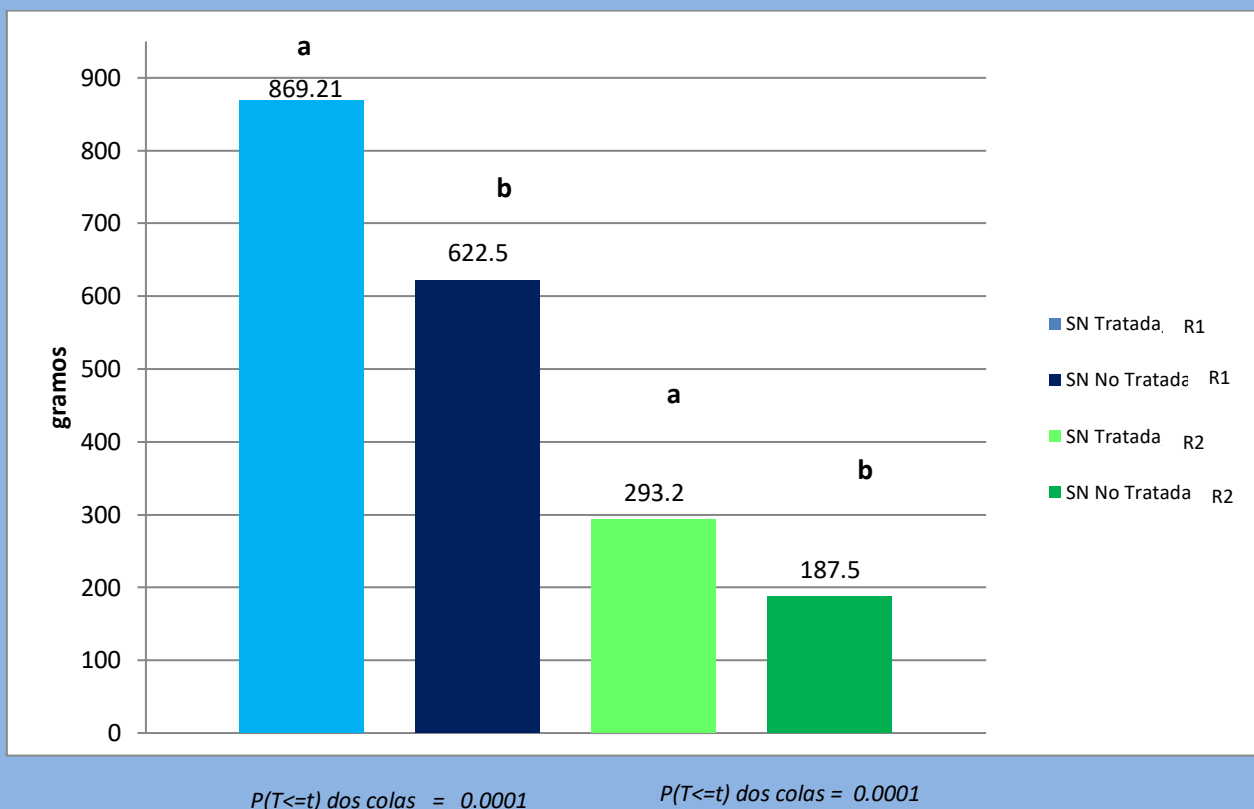
Finalmente, se encontró que al igual que para Ospina 2016, la prueba de potencial hídrico de hoja no determino ninguna variación importante entre tratamientos, siendo inclusive para este experimento 0% de diferencia entre los mismos. Igualmente a partir del proceso de descarte de datos se encontró que el error de muestreo es de 1.39% para plantas magnetizadas y 2.24% para plantas sin tratamiento magnético, por lo que se descarta un ruido experimental de gran afectación.

8.7. Biomasa y rendimientos 1era Replica

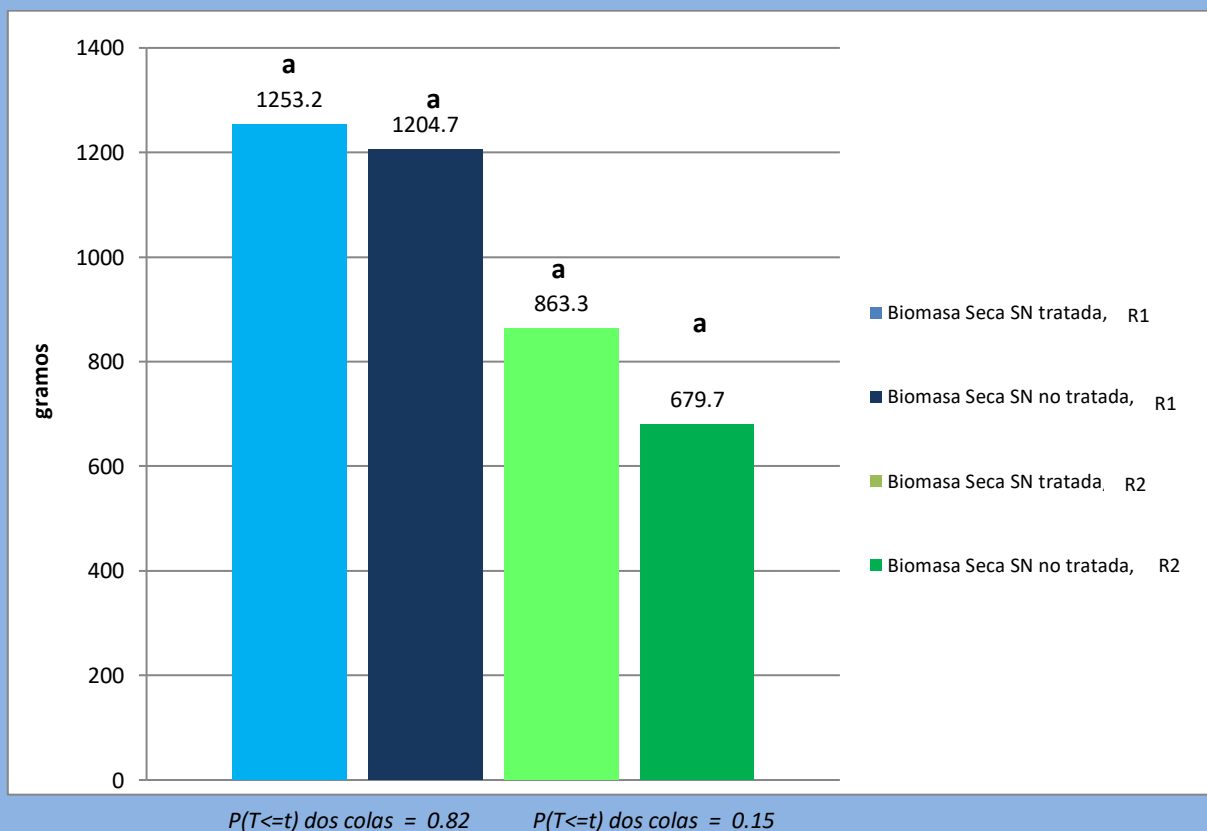
Gráfica 9. Comparación de tomates cosechados entre Tratamientos y Replicas, para 10 plantas por cada tratamiento.



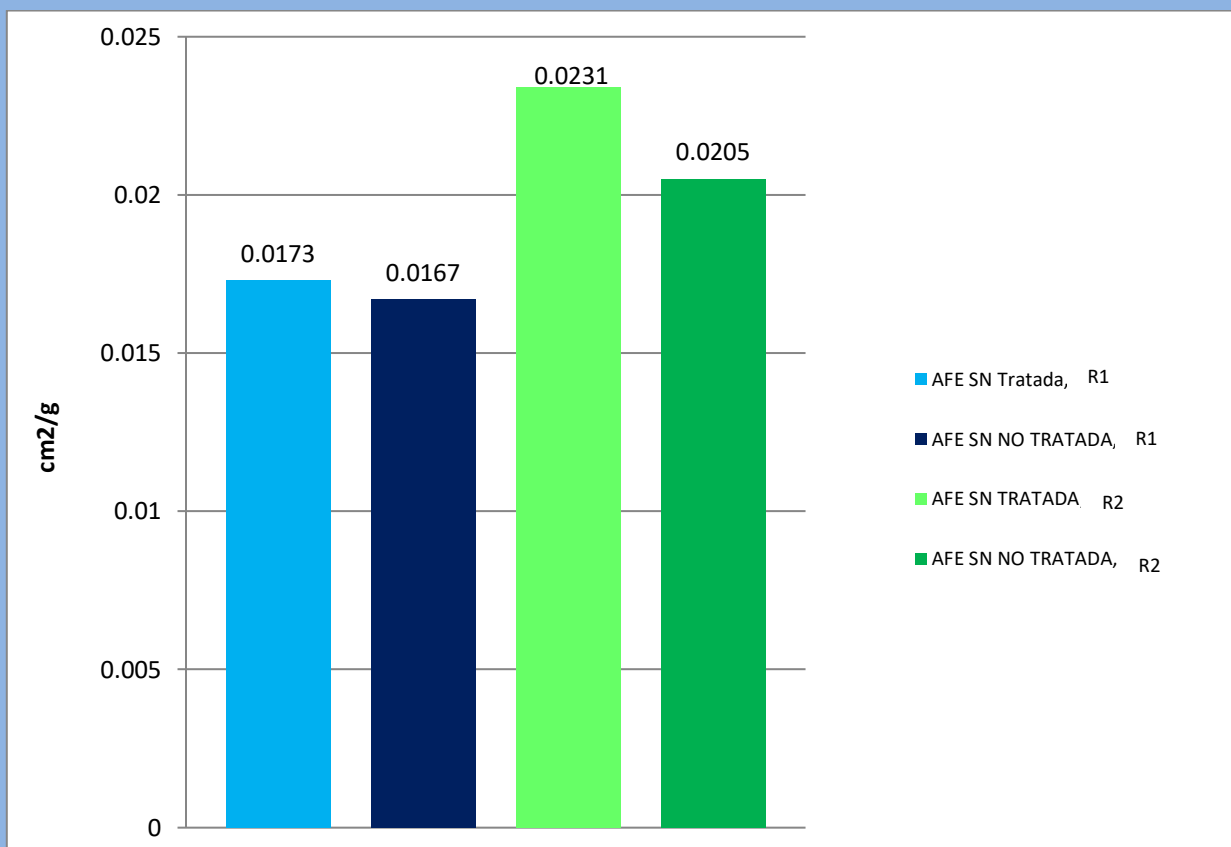
Gráfica 10. Comparación del peso seco de los frutos cosechados entre Tratamientos y Repeticiones



Gráfica 11. Comparación del peso de la materia seca en gramos (Raíz, Tallo y Hojas) entre Tratamientos y Replicas.



Gráfica 12. Comparación del área foliar específica (AFE) entre tratamientos y replicas



$P(T \leq t) \text{ dos colas} = 0.22$

El número de frutos por planta cuyo tratamiento fue magnetizado tuvo un valor altamente superior con respecto al tratamiento sin magnetizar (33% más), este aumento entre tratamientos ha sido registrado por autores como Maheshwari y Grewal, 2009, Zúñiga et al 2016 e Iqbal et al. 2016, en cultivos de apio, pimienta y de cúrcuma, ají tabasco y melón respectivamente. Concluyendo por todos los autores que este aumento es debido a las mejoras presentadas por la acción del campo magnético en la SN y en las plantas.

Los efectos de magnetizar dicha SN se manifiestan en el aumento del contenido de clorofila dado que existe una absorción positiva y continua de los iones, que se ve reflejado en el crecimiento de la planta y el color de las hojas. Esta absorción es posible dado que al magnetizar la SN el transporte de elementos primarios (savia bruta) requiere de un gasto energético menor dado que existe una columna continua de flujo desde las raíces hasta los receptores nutricionales ubicados en la membrana quienes ejercen una fuerza mayor de movimiento de iones y agua, ya sea por difusión simple o por apertura de proteínas (Ospina 2016) (Mejía 2010).

El efecto del imán sobre la SN también permitió aumentar la tasa de evaporación y a su vez aumentar la selectividad y acumulación en la SN, lo primero generó la apertura de los estomas permitiendo una mayor asimilación del CO_2 proveniente del ambiente, por consiguiente las plantas magnetizadas obtuvieron una cantidad no despreciable de energía para la realización

del proceso de fotosíntesis (Ospina, 2016). Lo segundo permitió que existiese una concentración mayor de algunos minerales en la savia que en la SN (Mejía 2010)

Para el peso fresco de los frutos se encontró que para las plantas cuya SN fue tratada magnéticamente también obtuvieron un mayor de peso (26% más), esto es debido no solo a que exista un mayor contenido de frutos por planta sino también a que la absorción de elementos sobre todo de cationes divalentes, permitió un mayor desarrollo del fruto cosechado (Ospina, 2016).

Mientras que el aumento para peso seco de frutos cuya SN fue tratada por medio de un campo magnético alcanzó un valor de 17%. De igual manera se encontró un aumento en el peso de las hojas (2% peso fresco y peso seco), y de los tallo (1% peso fresco y peso seco) tal como lo registra Iqbal et al. (2016), esto permite inferir que una gran cantidad de iones fueron direccionados para la elaboración de frutos.

La diferencia entre el peso fresco y el peso seco se debe en parte a la gran concentración de agua que existe en el peso fresco (90 al 95%), la cual a su vez tiene presencia de elementos paramagnéticos y ferromagnéticos en mayor medida que elementos diamagnéticos (Ospina 2016). Caso contrario ocurre para la materia seca la cual está compuesta entre el 90 al 95% de H, O y C y otras sales que no son posibles de cuantificar, por tanto el peso de la materia seca es mucho menor por la composición de los elementos que se encuentran en ella (Mejía 2010).

El área foliar de las plantas cuya SN fue magnetizada fue mayor en un 2% (tal como fue registrado por Ospina 2016 y Iqbal et al. 2016) esta medición se realizó para la época de floración, siendo esta la única medición ya que este procedimiento causaba un daño en las plantas y además presentaba un alto ruido experimental. En cuanto a la relación de área foliar respecto al peso de frutos y al peso de hojas también se encontró superioridad de la SN magnetizada en un 15.3% y 5.4% respectivamente.

Para el desarrollo radicular se encontró que el peso de las raíces cuya SN fue tratada fue 12% mayor a aquellas raíces cuya SN no, resultado que también fue evidenciado por Kather, et al. (2015) demostrando que las condiciones fisiológicas de la planta mejoraron a partir del efecto que ejerce el imán sobre las moléculas de agua.

Para finalizar se encontró que el porcentaje total de agua presente en las plantas de tomate con solución magnetizada y sin magnetizar fueron de 87.3% y 90% respectivamente, este porcentaje de agua presenta también elementos ferromagnéticos y paramagnéticos.

8.7.1. Biomasa y rendimientos 2da Replica

El número de frutos cosechados para las plantas cuya solución fue magnetizada fue mayor (24% más), resultado que se ajusta a lo anteriormente descrito (ver ítem 4), la reducción del 9% con respecto al primer Replica se puede interpretar como la diferencia temporal entre el número de cosechas (2 cosechas más para el primer Replica), pero es irrefutable que existe un aumento del número de frutos por acción del imán en la SN.

El peso fresco de los frutos que cumplieron las condiciones para las plantas cuya SN fue tratada magnéticamente también fueron superiores (24% más), esto es debido a que los frutos medidos

de las plantas demostraron mejores condiciones fisiológicas (mayor volumen) por lo que se plantea que exista un mayor absorción de elementos nutricionales y que la memoria magnética del agua fuese mayor. (Ospina, 2016).

El peso seco de frutos cuya SN fue tratada por medio de un campo magnético alcanzó un valor de 22%, valor mayor al alcanzado por el Replica 1 dado la calidad de los frutos. También se encontró un leve aumento en el peso de las hojas y los tallo tanto en su forma fresca como seca. Los valores adquiridos para las hojas fueron de 11% (peso fresco y peso seco) respectivamente, mientras que para los tallos se registraron valores de 13% (peso fresco y (peso seco) respectivamente, esto permite inferir que una gran cantidad de iones fueron direccionados para la elaboración de frutos, pero existieron los suficientes para generar un diferenciación en el desarrollo fisiológico de la planta de mayor presencia que en el Replica 1.

El área foliar de las plantas cuya SN fue magnetizada fue mayor en un 6.6% con respecto a las plantas cuya SN no sufrió magnetización (tal como fue registrado por Ospina 2016) esta medición se realizó para la época de floración (razones explicadas en el ítem 4). En cuanto a la relación de área foliar respecto al peso de frutos y al peso de hojas también se encontró superioridad de la SN magnetizada en un 28% y 9.3% respectivamente.

Para el desarrollo radicular se encontró que el peso de las raíces cuya SN obtuvo un 14% de más que aquellas raíces cuya SN no fue tratada, esto demuestra que las condiciones fisiológicas de la planta mejoraron a partir del efecto que ejerce el imán sobre las moléculas de agua.

Para finalizar se encontró que el porcentaje total de agua presente tanto en las plantas de tomate con solución magnetizada y sin magnetizar fue del 90% respectivamente, este porcentaje de agua presenta también elementos ferromagnéticos y paramagnéticos.

9. CONCLUSIONES

- La presencia del campo magnético generó un aumento en la biomasa de las plantas cuya SN fue estimulada por el imán, registrando un incremento del 8.7% para la biomasa total (raíz, tallo, hojas y frutos) siendo los frutos los de mayor diferencia con una razón de 1.49.
- Hay una relación directamente proporcional entre la viscosidad de la SN y el contenido de sales presente en una SN, pues a mayor viscosidad mayor CE se registró en la SN circundante, no obstante se encontró que el aumento de la viscosidad no solo se generó por factores de temperatura y presión.
- Se encontró una relación directamente proporcional entre la biomasa del peso seco y la cantidad de frutos recolectados con la aplicación del campo magnético, por tanto se establece que el efecto generado por los campos magnéticos permitió dado su efecto en las condiciones fisicoquímicas de la SN y de la planta un mayor aprovechamiento de la SN que se refleja en un mayor contenido de frutos, que finalmente determina que exista una mayor cantidad de biomasa de las plantas tratadas.
- En condiciones de invernadero no se encontró una diferencia en cuanto al potencial de hoja para los dos tratamientos, por tanto no se puede concluir el campo magnético ejercido por el imán genera algún efecto medible por el método de Scholander.
- La tensión superficial mostró una reducción para un tratamiento magnético que manifestó un comportamiento diferencial a medida que la SN era recirculada en mayor tiempo, por lo que se puede concluir que el efecto del imán en SN origina que existiese una reducción de las fuerzas hidrofóbicas de las moléculas presentes en la membrana celular, este efecto aumentara conforme el tiempo de exposición de la SN sea mayor.
- Aunque no se comprobó una reducción significativa (estadísticamente) en los parámetros de la SN, se concluye que las ligeras reducciones en estos parámetros de CE, Viscosidad y Tensión Superficial sí generó un aumento del 31.4% en los frutos cosechados para las plantas que tuvieron estimulación magnética.
- Los valores de FE para el tratamiento constatan que pudo influir en una estabilidad en la membrana, lo que generó que los intercambios iónicos en la membrana fuese acordes a las necesidades de la planta y redujeran el gasto energético para este proceso.

10. PRESUPUESTO

Este proyecto fue financiado con los recursos aportados por el grupo de investigación ILAMA adscrito a la Universidad del Valle, específicamente a la facultad de Ciencias y cuyo docente responsable es Ph.D Orlando Zúñiga.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, B. (2014). Interactive Effects of Silicon and Potassium Nitrate in Improving Salt Tolerance of Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, V.13, (Págs.: 1889-1899). Consultado Marzo 2017.
- Alvarado, P. (2009). Riego en Cultivo de Tomate. *Nodo Hortícola*, V. 6, (Págs.:25-30). Consultado Enero 2017.
- Bocero, S. (2002). Cultivos protegidos y problemas ambientales: un estudio de la horticultura marplatense en la década del noventa. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina. Consultado Enero 2017.
- Borgognone, D. Colla, G. Rouphael, Y. Cardarielli, M. Rea, E. Schwarz, D. . (2013). Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, V.149, 61-69. Consultado Marzo 2017.
- DANE. (2015). Información Estadística Cultivo de Tomate. Consultado Marzo 2017
- DANE. (2012). Económico. Atlas Estadístico. V. 3; (Págs.: 34-54). Consultado Marzo 2017
- DANE. (2012). Importancia de los fertilizantes nitrogenados. Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUÁRIA No.3. Consultado Febrero 2017
- Díaz, J. Carbonell, M. y Ramírez, E. (2014). Cambios de la Conductividad Eléctrica Asociados al Tratamiento Magnético del Agua. *Ciencia y Tecnología*, V. 3, (Págs.: 2-3). Consultado Febrero 2017.
- dos Santos, M. (2005). Hidroponía y promoción del crecimiento de las plántulas de tomate inoculadas con bacterias PGPT. En Programa de Becas para Jóvenes Destacados del Polimodal. (Págs.: 65-75). Argentina: Serie Digital. Consultado Febrero 2017
- Echeverri, S. (2016). Tecnificación e implementación de tres métodos de cultivo hidropónico. (Tesis de Maestría). Universidad Javeriana. Colombia. Consultado Enero 2018.
- FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Roma: FAO. Consultado Enero 2017.
- FAO. (2014). Anuario Estadístico de FAO. La alimentación y la agricultura en América Latina y el Caribe. Santiago: FAO. Consultado Marzo 2017.
- FAO. (2015). Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Consultado Enero 2017, Sitio web: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- Ferratto, J. y Modino, M. (2008). Producción, consumo y comercialización de hortalizas el mundo. *agromensajes de la facultad*, V. 1. Consultado Febrero 2017
- González, A. (2008). Lo cierto y lo falso en el tratamiento magnético del agua y los combustibles. *Revista Cubana*. V. 25, (Págs.:1-5). Consultado Febrero 2017.

IDEAM (2012). La Degradación De Los Suelos En La Gestión Ambiental: Taller sobre la problemática de la degradación de suelos y tierras en Colombia (Plan de Acción Nacional contra la desertificación y sequía PAN y programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras). Consultado Febrero 2017.

Iqbal, M. Haq, Z. Jamil, Y. Nisar, J. (2016). Pre-sowing seed magnetic field treatment influence on germination, seedling growth and enzymatic activities of melon (*Cucumis melo* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. V.6, (Págs.:176-183). Consultado Enero 2018.

Jaramillo, J. Rodríguez, V. Guzmán, M. Zapata, M. Rengifo, T. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de Tomate bajo condiciones protegidas. Medellín: CTP Print Ltda. Consultado Febrero 2017.

Khater, E.Bahnasawy, A. El-Hakeem, A. Hassan, M. Hassan, Y. (2015). Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation. *Ecological Engineering*, V.83, (Págs.: 199-207). Consultado Marzo 2016.

Katsoulas, N. Savvas, D. Kitta, E. Bartzanas, T. Kittas, C. (2015). Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, V.113, (Págs.: 61-71). Consultado Marzo 2017.

Kobayashi, F. Sugiura, M. Ikeura, H. Sato, K. Odake, S. Hayata, Y. (2013). Inactivation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* in hydroponic nutrient solution by low-pressure carbon dioxide microbubbles. *Scientia Horticulturae*, V.164, (Págs.: 596-601). Consultado Marzo 2017.

Lara, A. (2000). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, V.17, (Págs.: 221-228). Consultado Febrero 2017.

Lopes, J. (2014). Sistema de Comunicação e Controlo para Hidroponia. (Tesis de Maestría). Universidad do Minho. Brasil. Consultado Noviembre 2018.

López, R. Arteaga, R. Vázquez, M. López, I. y Sánchez, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo*, V.15, (Págs.:1-2). Consultado Enero 2017.

Madrid J. (2007). Cultivo de Jitomate mediante hidroponía. Una alternativa viable de inversión. (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Consultado Enero 2017.

Martínez, E. Carbonell, V. y Flórez, M. (2003). Estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos. *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, V sf., (Pág.:28). Consultado Febrero 2017.

Martínez, G. Ortiz, Y. López, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva re circulante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 35, (Págs.: 1-2). Consultado en Febrero 2017.

Mejía, M. (2010). Conceptos sobre Fisiología de Absorción y Funciones de los Minerales en la Nutrición de Plantas. Palmira, Colombia: Universidad Nacional Sede Palmira.

Ministerio de Agricultura. (2016). Área sembrada y área cosechada del cultivo de Tomate. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Consultado Marzo 2017.

Monardes, H. (2009). Importancia económica del cultivo en la región, país y el mundo. Nodo Hortícola, V. 6, (Págs.: 5-10). Consultado Enero 2017.

OMS. (2017). AGUA. Consultado Noviembre 2017, de OMS Sitio web: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>

Ospina, S. (2016). Estudio del efecto de Tratamientos Magnéticos en la fisiología y el rendimiento en diferentes especies. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Consultado Febrero 2017.

Paradiso, R. Buonomo, R. Dixon, M. Barbieri, G. Pascale, S. (2014). Soybean cultivation for Bioregenerative Life Support Systems (BLSSs): The effect of hydroponic system and nitrogen source. Advances in Space Research, V.53, (Págs.:574-584). Consultado Marzo 2017.

Peña, M. Casierra, F. y Monsalve, O. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. Revista colombiana de Ciencias Hortícolas, Vol. 7, (Págs.:217-227). Consultado Febrero 2017

Programa Mundial de Alimentos. (2017). Hambre, los datos más Importantes. Consultado Abril 2017, de PMA Sitio web: <https://es.wfp.org/hambre/datos-del-hambre>

Sung, J. Lee, S. Lee, Y. Ha, S. Song, B. Kim, T. Waters, B. Krishan, H. (2015). Metabolomic profiling from leaves and roots of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown under nitrogen, phosphorus or potassium-deficient condition. Plant Science, V.241, (Págs.: 55-64). Consultado Marzo 2017.

Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial. (2015). En Manual del Tomate. Generalidades del Tomate. (Págs.: 10-36). Bogotá: Gill Sans. Consultado Marzo 2017

While, F. (2008). Introducción. En Mecánica de Fluidos (Págs.: 27-33). España: McGraw-Hill. Consultado Marzo 2017.

Wortman, S. (2015). Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. Scientia Horticulturae, V.194, (Págs.: 34-42). Consultado Marzo 2017.

Zarate, B. (2007). Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. México. Consultado Enero 2017.

Zúñiga, O. Benavides, J. Jiménez, C. Gutiérrez, M. Torres, C. (2016). Efecto del agua tratada magnéticamente en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.). REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS, Vol.10, (Págs.:176-185). Consultado Abril 2017.

Zlotopolski, V. (2017). The Impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column. *International Soil and Water Conservation Research*, V.5, (Págs.: 253-257). Consultado Enero 2018

Zúñiga, O. Benavides, J. Ospina, D. Jiménez, C. Gutiérrez, M. (2016). Tratamiento magnético de agua de riego y semillas en agricultura. *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 18, (Págs.: 217-232). Consultado Febrero 2017.